

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

**DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL Y
GEOGRAFÍA FÍSICA**



TESIS DOCTORAL

**Humedales de la confluencia de los ríos Riansares y Cigüela: Estudio
de ciertas funciones relevantes en Geografía Física**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

M^a Eugenia Pérez González

DIRIGIDA POR

Juan José Sanz Donaire

Madrid, 2002

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**Facultad de Geografía e Historia
Departamento de Análisis Geográfico Regional
y Geografía Física**

**LOS HUMEDALES DE LA CONFLUENCIA DE LOS
RÍOS RIÁNSARES Y CIGÜELA: ESTUDIO DE
CIERTAS FUNCIONES RELEVANTES EN
GEOGRAFÍA FÍSICA**

Tesis doctoral realizada por: MARIA EUGENIA PÉREZ GONZÁLEZ

Dirigida por: Dr. D. Juan José Sanz Donaire

Abril, 1995

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

I. EL CLIMA DE LA MANCHA HÚMEDA	5
EL CLIMA REGIONAL	5
I.1 Introducción	5
I.2. Precipitaciones	10
Valores totales	
Valores máximos en 24 horas	
Tipo y frecuencia de las precipitaciones	
Régimen pluviométrico	
I.3. Temperaturas	22
Las temperaturas medias	
Las temperaturas absolutas	
La oscilación diaria de la temperatura	
El período de heladas	
I.4. Otras variables climáticas	26
La humedad relativa media anual	
La insolación media	
La evaporación	
Los vientos dominantes durante los días de lluvia	
I.5. Regímenes climáticos y dinámica atmosférica	29
I.6. Balance hídrico	31
I.7. Clasificaciones climáticas y climato-morfológicas	39
METEOROLOGÍA	43
I.8. Precipitaciones: frecuencia, tipo y fenómenos especiales	43
I.9. Temperaturas: efectos microclimáticos y temperaturas del suelo	44
I.10. Dinámica atmosférica	54
I.11. Otras variables del clima	55
I.12. Balance hídrico y su relación con los niveles hídricos de las lagunas.	60
II. GEOMORFOLOGÍA	64
II.1. Introducción y localización de las higrocoras manchegas	64
II.2. Marco geológico	68
II.2.1. Aspectos litológicos	68
II.2.2. Aspectos tectónicos	72

II.3. Mapas geomorfológicos	74
II.4. Formas	77
II.4.1. Formas de origen fluvial.	77
4.1.1. Lecho del río.	
4.1.2. Lagunas.	
Laguna Chica de Villacañas o Gramosa	
Laguna Larga de Villacañas.	
Laguna de Peña Hueca	
Laguna del Taray	
Laguna del Masegar	
4.1.3. Llanuras de inundación.	
4.1.4. Barra.	
4.1.5. Fondos de antiguos lagos y pantanos de llanura de inundación.	
4.1.6. Abanicos fluviales activos.	
4.1.7. Meandros abandonados.	
II.4.2. Formas de origen denudativo.	88
4.2.1. Superficie de topografía casi plana (<3 % de pendiente).	
4.2.2. Superficie de topografía ondulada a moderadamente ondulada (3-8 % de pendiente).	
4.2.3. Laderas basales (< 3 % de pendiente).	
4.2.4. Laderas de pendiente suave a moderada (3-8 % de pendiente).	
4.2.5. Laderas medianamente empinadas a empinadas (9-25 % de pendiente).	
4.2.6. Escarpe (> 25 % de pendiente).	
II.4.3. Formas de origen estructural y denudativo.	90
4.3.1. Topografía montañosa a colina.	
4.3.2. Mesas.	
4.3.3. Cuestas.	
4.3.4. Topografía ondulada con drenaje paralelo y disección moderada.	
II.4.4. Formas de origen kárstico.	92
4.4.1 Dolinas o torcas.	
Dolinas de disolución normal	
Dolinas aluviales	
4.4.2 Lapiaz oqueroso	
II.4.5. Formas de origen antrópico.	97
4.5.1. Malecones o muros	
II.5. Evolución geomorfológica	98
 III. SUELOS	 103
III.1. Introducción	103
III.2. Metodología	105
III.3. Descripción de los perfiles de los suelos	107
III.3.1. Perfil nº1: Villacañas Chica	107
III.3.2. Perfil nº2: Villacañas Larga	110

III.3.3. Perfil nº3: Peña Hueca	112
III.3.4. Perfil nº4: El Masegar	114
III.4. Horizontes, propiedades y características físico-químicas de los suelos descritos	117
117 III.4.1. Grado de evolución	117
III.4.2. Horizontes genéticos	118
III.4.3. Horizontes subyacentes	118
III.4.4. Eflorescencias salinas	118
III.4.5. Propiedades sálicas	118
III.4.6. Propiedades gipsíferas	119
III.4.7. Propiedades calcáricas	119
III.4.8. Propiedades gléicas	121
III.4.9. Reacción de los suelos	121
III.4.10. Materia orgánica	122
III.4.11. La textura del suelo	122
III.4.12. Contenido en nitrógeno: variaciones locales y estacionales	122
III.4.13. Contenido en fósforo: variaciones locales y estacionales	123
III.5. Clasificación de los suelos	126
III.6. Potencial redox	128
III.6.1. Introducción	128
III.6.2. Metodología	129
III.6.3. Resultados	131
III.6.4. Conclusiones	157
III.7. Análisis de las tiras de algodón como método para estudiar la descomposición de la celulosa en los suelos	163
III.7.1. Introducción	163
III.7.2. Metodología	164
III.7.3. Observaciones	165
III.7.4. Resultados y conclusiones	165
7.4.1. Valores absolutos, valores medios y rangos observados en los suelos manchegos del sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela (Toledo).	
7.4.2. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo.	
7.4.3. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales.	
7.4.4. Influencia de los factores meteorológicos en la descomposición de las tiras de algodón.	
7.4.5. Influencia de la temperatura.	
7.4.6. Influencia de la lluvia.	
7.4.7. Influencia de la evaporación y la evapotranspiración.	
7.4.8. Influencia de los principales nutrientes del suelo: nitrógeno total y fósforo asimilable.	
IV. HIDROLOGÍA	187
IV.1. Introducción.	187

IV.2. La red hidrográfica superficial.	188
IV.3. Niveles piezométricos de las lagunas.	197
IV.4. Análisis de las aguas de las lagunas.	198
IV.4.1. Metodología	198
IV.4.2. Interpretación de los análisis de las aguas	203
A. Laguna Chica de Villacañas	
B. Laguna Larga de Villacañas	
C. Laguna de Peña Hueca	
D. Laguna del Masegar	
IV.5. Conclusiones	232
V. USOS DEL SUELO Y VEGETACIÓN	237
V.1. Usos del Suelo	237
V.2. La vegetación natural	242
V.2.1. Introducción	242
V.2.2. La vegetación natural en el entorno de las higrocoras	244
A. Laguna Chica de Villacañas	
B. Laguna Larga de Villacañas	
C. Laguna de Peña Hueca	
D. Laguna del Masegar	
V.3. Resultados y conclusiones	252
VI. CONCLUSIONES	256
BIBLIOGRAFÍA	259

ÍNDICE DE CUADROS

1. Índice general de estaciones meteorológicas.
2. Correlaciones entre las precipitaciones totales anuales y en 24 horas, (1961-90).
3. Precipitaciones medias de los totales mensuales y anuales de la serie 1961-1990 (mm).
4. P.1 = Porcentaje de la precipitación máxima en 24 horas respecto a la total mensual.
P.2 = Precipitación media de los máximas diarias, (mm).
5. Régimen estacional de las precipitaciones (en mm y %).
6.
 - 6.1. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Alcázar de San Juan de la serie 1961-1990.
 - 6.2. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Campo de Criptana de la serie 1966-1990.
 - 6.3. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Socuéllamos (CR) de la serie 1961-1990.
 - 6.4. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Tomelloso (CR) de la serie 1971-1990.
 - 6.5. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Las Pedroñeras (CU) de la serie 1961-1990.
 - 6.6. Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Madridejos (TO) de la serie 1967-1990.
7.
 - 7.1. Balance Hídrico de Alcázar de San Juan (CR).
 - 7.2. Balance Hídrico de Campo de Criptana (CR).
 - 7.3. Balance Hídrico de Madridejos (TO).
 - 7.4. Balance Hídrico de Las Pedroñeras (CU).
 - 7.5. Balance Hídrico de Tomelloso (CR).
8. Índices de continentalidad
9. Sistemas climáticos de La Mancha según Wilson (1968).
10. Temperaturas máximas y mínimas en dos higrocoras manchegas.
11. Estadística de la temperatura del suelo de la estación de Villafranca de los Caballeros (TO).
12. Otros datos analíticos de los suelos de interés.
13. Datos estadísticos del potencial redox (Eh) en los suelos de la Laguna Chica de Villacañas (TO).
14. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles piezométricos, parámetros.
15. Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna Larga de Villacañas (TO).
16. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna Larga de Villacañas, Solonchak.
17. Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna Larga de Villacañas (TO).
18. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles

piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna Larga de Villacañas (antrosol).

19. Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna de Peña Hueca (TO).

20. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -80 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna de Peña Hueca.

21. Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna del Masegar (TO).

22. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -100 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna del Masegar, estación 5.

23. Datos estadísticos del potencial Redox en los suelos de la Laguna del Masegar (TO), estación 6.

24. Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -100 cm), niveles piezométricos y parámetros meteorológicos. Laguna del Masegar, estación 6.

25. Temperaturas del suelo medias durante los inviernos de 1989, 1990 y 1991. Villafranca de Los Caballeros (Toledo).

26. Valores medios, máximos y mínimos de %PTd¹.

27. Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna Chica de Villacañas (gypsisol).

28. Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna de Peña Hueca (Regosol).

29. Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna Larga de Villacañas (Antrosol).

30. Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna Larga de Villacañas (Solonchak).

31. Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna del Masegar (gleysol).

32. Coeficientes de correlación entre el % PTd¹ y los nutrientes.

33. Caudales medios mensuales máximos del período 1954-55/85-86 (en m³/s). Estaciones de aforo de Quintanar (201) y Villafranca (202).

34. Caudales y niveles máximos diarios anuales en la estación de aforo de Quintanar (Toledo).

35. Caudales y niveles máximos diarios anuales en la estación de aforo de Villafranca (Toledo).

36. Análisis de las aguas de la laguna Chica de Villacañas de 1989. Valores expresados en ppm.

37. Análisis de las aguas de la laguna Chica de Villacañas de 1990. Valores expresados en ppm.

38. Análisis de las aguas de la laguna Larga de Villacañas de 1989. Valores expresados en ppm.

39. Análisis de las aguas de la laguna Larga de Villacañas de 1990. Valores expresados en ppm.

40. Análisis de las aguas de la laguna de Peña Hueca de 1989. Valores expresados en ppm.

41. Análisis de las aguas de la laguna de Peña Hueca de 1990. Valores expresados en ppm.

42. Análisis de las aguas de la laguna del Masegar de 1989. Valores expresados en ppm.
43. Análisis de las aguas de la laguna del Masegar de 1990. Valores expresados en ppm.
44. Evolución de los cultivos agrícolas en el término municipal de Villacañas, Toledo. (%).
45. Evolución de las superficies ocupadas por cultivos agrícolas en el término municipal de Villacañas (Toledo). (%).
46. Porcentajes de cultivos y aprovechamientos en ocho hojas 1:50.000 de la Mancha.
47. Niveles piezométricos en la laguna Chica de Villacañas en cm.
48. Niveles piezométricos de la laguna Larga de Villacañas en cm.
49. Niveles piezométricos bajo el *Schoenus nigricans* en la laguna Larga de Villacañas en cm. (1989).
50. Niveles piezométricos en la laguna de Peña Hueca en cm.
51. Familias y especies vegetales más comunes en el entorno de las lagunas del SE de Toledo.

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Localización del área de estudio
2. Humedad relativa media anual en Villafranca de los Caballeros.
3. La insolación media en Villafranca de los Caballeros.
4. La evaporación mensual del período 1985-92.
5. Rosa de los vientos durante los días de lluvia. Villafranca de los Caballeros.
6. Distribución de las precipitaciones anuales del período 1961-90 respecto a la media.
7. Forma de la precipitación. Villafranca de los Caballeros.
8. Balances hídricos. Valores medios del período 1961-1990.
9. Diagramas ombrotérmicos de Walter Lieth.
10. Regiones morfogenéticas de Wilson y Peltier.
11. Posibles relaciones entre los procesos geomorfológicos y el clima (precipitaciones y temperaturas medias anuales).
12. Temperaturas del suelo
 - 12.a. a -5 cm en Villafranca de los Caballeros. 1989-1991.
 - 12.b. a -10 cm en Villafranca de los Caballeros. 1989-1991.
 - 12.c. Temperaturas del suelo a -20 cm en Villafranca de los Caballeros. 1989 y 1991.
 - 12.d. Temperaturas del suelo a -50 cm en Villafranca de los Caballeros. 1989 y 1991.
 - 12.e. Temperaturas del suelo a -100 cm en Villafranca de los Caballeros. 1989 y 1991.
13. Evaporación diaria en Villafranca de los Caballeros desde el 1.1.1989 al 31.1.1991.
14. Humedad relativa diaria en Villafranca de los Caballeros desde el 1.1.1989 al 31.1.1991.
15. Evaporación mensual según diferentes autores.
16. Altura del agua en 3 lagunas manchegas.
17. Balance hídrico de 1989 y 1990.
18. Marco geográfico de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela.
19. Algunos ejemplos de supuestas fracturas del sustrato.
20. Localización de los mapas geomorfológicos en el mapa topográfico.
21. Supuesta evolución del relieve entre Villacañas y el N de la laguna de Peña Hueca.
22. Localización de los perfiles de los suelos en el sector Villacañas-Peña Hueca-Masegar.
23. Distribución del contenido de yeso en función de la profundidad.
24. Distribución del contenido de carbonatos en función de la profundidad.
25. Contenido de nitrógeno total (%) en los suelos del sector Villacañas-Peña Hueca-Masegar.
26. Contenido de fósforo asimilable (mg/100g) en los suelos del sector Villacañas-Peña Hueca-Masegar.
27. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna Chica de Villacañas.

28. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna Larga de Villacañas. Estación 2.
29. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna Larga de Villacañas. Estación 3.
30. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna de Peña Hueca.
31. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna del Masegar. Estación 5.
32. Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna del Masegar. Estación 6.
33. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el gypsisol de la laguna Chica de Villacañas.
34. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el regosol/luvisol de la laguna de Peña Hueca.
35. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el gleysol de la laguna del Masegar.
36. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el solonchak de la laguna Larga de Villacañas.
37. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el antrosol de la laguna Larga de Villacañas.
38. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el gypsisol de la laguna Chica de Villacañas.
39. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el regosol/luvisol de la laguna de Peña Hueca.
40. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el gleysol de la laguna del Masegar.
41. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el solonchak de la laguna Larga de Villacañas.
42. Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el antrosol de la laguna Larga de Villacañas.
43. Relaciones entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y la temperatura.
44. Relaciones entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y la ETP.
45. Red hidrográfica que aporta aguas a las lagunas de Villacañas y al río Riánsares.
46. Caudales y niveles del río Cigüela en las estaciones de aforo 201 y 202.
47. Caudales y niveles del río Cigüela en la estación de aforo 202 con cambio de escala.
48. Hidrograma anual del río Cigüela en las estaciones de aforo de Quintanar (201) y Villafranca (202)
49. Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en las aguas de la laguna Chica de Villacañas durante 1989 y 1990.
50. Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en las aguas de la laguna Larga de Villacañas durante 1989 y 1990.
51. Red hidrográfica que aporta aguas a la laguna de Peña Hueca.
52. Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en las aguas de la laguna de Peña Hueca durante 1989 y 1990.
53. Contenido de O_2 y conductividad eléctrica en la laguna del Masegar durante 1989 y 1990.
54. Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en las aguas de la laguna del Masegar durante 1989 y 1990.
55. Superficie ocupada por la vegetación natural en las lagunas Larga y Chica de

Villacañas.

56. Superficie ocupada por la vegetación natural en la laguna de Peña Hueca.

57. Superficie ocupada por la vegetación natural en la laguna del Masegar.

LISTA DE MAPAS

Climáticos

1. Localización de las estaciones meteorológicas
2. Precipitación media anual (mm). Serie 1961-1990
3. Precipitación media del mes de enero (mm). Serie 1961-1990
4. Precipitación media del mes de abril (mm). Serie 1961-1990
5. Precipitación media del mes de agosto (mm). Serie 1961-1990
6. Precipitación media del mes de octubre (mm). Serie 1961-1990
7. Temperatura media anual (°C)

Geomorfológicos

- 3-2.- Mapa geomorfológico de Villacañas
- 3-3.- Mapa geomorfológico entre Villacañas y el N de la laguna de Peña Hueca
- 3-4.- Mapa geomorfológico de las lagunas del Taray del Masegar y de Peña Hueca.

**LOS HUMEDALES DE LA CONFLUENCIA DE LOS
RÍOS RIÁNSARES Y CIGÜELA: ESTUDIO DE
CIERTAS FUNCIONES RELEVANTES
EN GEOGRAFÍA FÍSICA**

MARIA EUGENIA PÉREZ GONZÁLEZ

INTRODUCCIÓN

La Mancha ha sido comúnmente conocida como un espacio llano, monótono y de escasa variabilidad paisajística. No obstante, destacan en el sector manchego más llano, casi un centenar de humedales que con diferentes denominaciones: tablas, tablazos, vegas, lagunas, lagunillas, charcones, etc., resultan ser uno de los elementos paisajísticos más representativos. A todo el conjunto de humedales se le ha llamado recientemente *Mancha Húmeda*, englobando así, cualquier higrocora (zona húmeda, wetland, zone humide, ...) ubicada en la región manchega. Pero frente a la simplicidad de los dos términos escogidos queda por definir qué es un humedal, y delimitar el conjunto en La Mancha.

La primera duda queda aparentemente resuelta con la definición de humedal emitida en 1972 en el Convenio Ramsar. En ella, se incluyen como tal a "las zonas de marisma, pantano, turbera o aguas rasas, naturales o artificiales, permanentes o temporales, de aguas remansadas o corrientes, dulces, salobres o salinas, con inclusión de aguas marinas cuya profundidad en marea no exceda de seis metros, así como las márgenes y tierras limítrofes con el fin de evitar daños a la fauna y flora por contaminación de las aguas". Aunque esta definición incluya todos los cuerpos de agua con una profundidad inferior a seis metros, se quiere destacar aquí, que el concepto de humedal se complica cuando entran en consideración dos aspectos elementales en cualquier espacio: evolución y funcionalidad. Así, son múltiples los ejemplos de llanuras de inundación que ya no son inundadas, lagunas que dejaron de existir por drenajes y canalizaciones para transformarse en terrenos cultivables, pero que el abandono de las actividades les han devuelto sólo algunas de las características precedentes, o tablas que eran inundadas periódicamente por ascensos del nivel freático, y en la actualidad, dichos niveles han descendido tanto que nunca llegan a la superficie de forma natural. Tampoco queda resuelta qué cuerpos de agua artificiales entran en la definición de humedal. En definitiva el proceso regresivo en cualquier humedal comienza con la pérdida del cuerpo del agua, pero establecer el momento en que dejan de pertenecer al calificativo de zona húmeda está lejos de resolverse, pues requiere un conocimiento más riguroso del medio que la mera existencia temporal o permanente del agua en superficie.

En cuanto al segundo aspecto, el concepto de *Mancha Húmeda* fue creado ante la necesidad de reunir bajo una sólo denominación a todos los humedales manchegos, que no son únicamente los más conocidos: el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y el Parque Natural de las Lagunas de Ruidera. Los numerosos humedales merecen un destacado reconocimiento, no sólo por su valor faunístico y biológico, sino por suponer un conjunto irrepetible de gran variedad morfológica, hídrica y edafológica, que se han originado bajo condiciones igualmente diferentes, y han tenido (y todavía mantienen) desigual evolución.

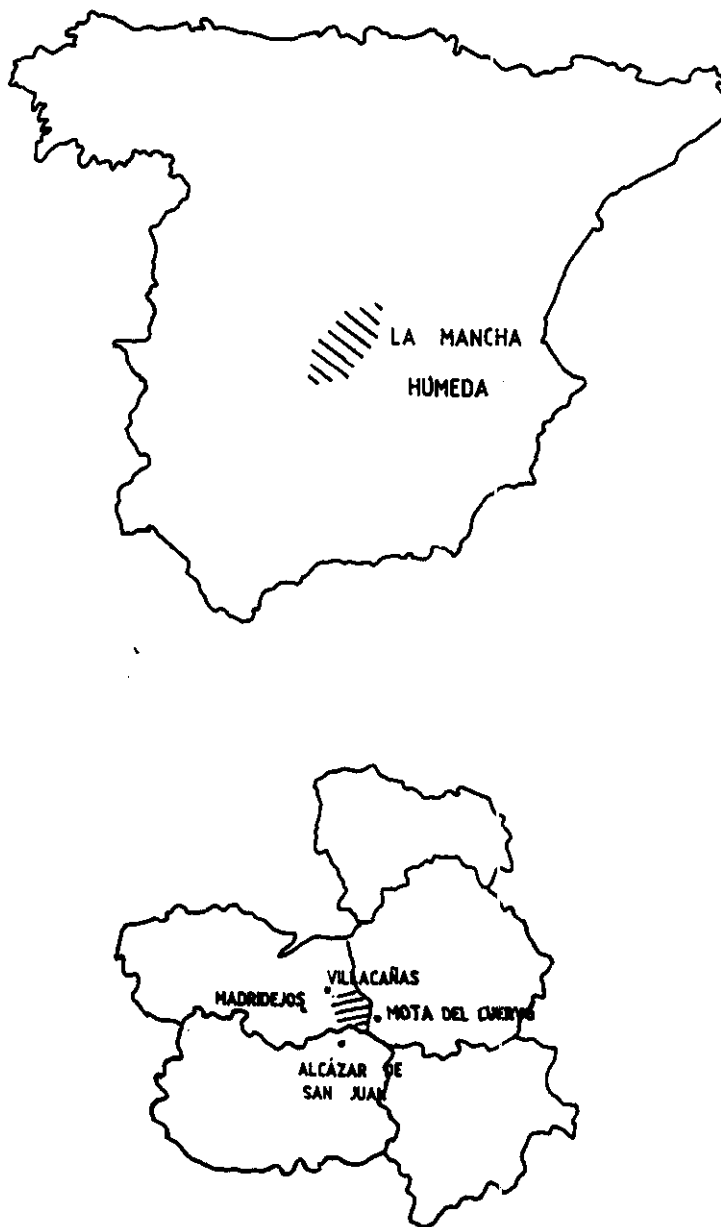
La extensión de la *Mancha Húmeda* está en la actualidad mal delimitada, pues se desconocen exactamente las cuencas de los diferentes humedales manchegos. Así, para delimitarla se establece cartográficamente una línea envolvente de todas las lagunas, tablas o terrenos inundables, alcanzando una superficie en torno a los 1.950 km² y que incluyen los tramos medios y bajos de los ríos Riánsares, Cigüela y Záncara, así, como las decenas de lagunas desconectadas de la red fluvial actual, que están presentes en las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo.

El presente trabajo tiene como finalidad dar a conocer un sector de la *Mancha Húmeda* situado en el extremo suroriental de la provincia de Toledo (fig.1) y que contiene varios humedales de distinta tipología en cuanto a su origen, al grado de salinidad de sus aguas (desde las dulces a las hipersalinas), al tipo de aporte hídrico (pluvial, fluvial, kárstico, subsuperficial y subterráneo), y al grado de transformación por parte del hombre (contaminaciones por vertidos de escombros, por aguas residuales -domésticas e industriales-, por explotación de las aguas del vaso lagunar, ...)

El objetivo es resaltar especialmente los aspectos abióticos, en general menos conocidos a consecuencia del tradicional énfasis ecológico que se le ha venido atribuyendo a los humedales, especialmente por la riqueza faunística que ellos comportan.

El enfoque eminentemente geográfico de esta obra pretende analizar el sector entre Villacañas y la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, pero sin considerar las diferentes higrocoras aisladas e individualizadas, sino formando parte del entorno espacial donde se ubican. Se pretende conocer los orígenes de los humedales, así como las principales funciones y transformaciones que en ellos se producen.

Fig. 1.- Localización del área de estudio.



CAPÍTULO I

EL CLIMA DE LA MANCHA HÚMEDA

EL CLIMA REGIONAL

I.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo analizar el clima de *La Mancha Húmeda* sita entre las provincias de Toledo, Ciudad Real y Cuenca. En esta amplia superficie (1.750 Km² aproximadamente), discurren con lentitud los cursos fluviales de los ríos Riánsares, Cigüela y Záncara, dejando a su paso frecuentes tablazos, lagunas, charcas o manchas de aguas temporales, fruto de la compleja interacción de factores que componen el medio actual.

Se tratará de establecer la relación existente entre el clima actual y los humedales; así como el tipo de régimen climático y los procesos que en relación con las variables del clima se produzcan en este espacio.

- Variables climáticas:

En la primera fase del estudio se solicitaron los datos meteorológicos de todas las estaciones existentes en *La Mancha Húmeda* de la serie 1961-1990, con el fin de conocer el número total de estaciones, tipología, distribución espacial y continuidad temporal de los datos registrados en ellas. (Ver cuadro 1 y mapa 1). De ellos se advierte un gran número de estaciones meteorológicas de segundo y tercer orden, esto es, termopluviométricas (6) y pluviométricas (25) respectivamente y, una sola estación completa (Villafranca de los Caballeros, Toledo).

A la vista de los datos disponibles se abordará el estudio climático de *La Mancha Húmeda* desde una doble perspectiva:

- a.- General, del período 1961-1990 de toda La Mancha (precipitaciones y temperaturas) y, de Villafranca de Los Caballeros de 1985-1992 (humedad, evaporación, insolación y vientos).
- b.- De detalle, de los años 1989 y 1990 de la estación completa, necesarios para correlacionarlos con parámetros climáticos, hídricos y edáficos tomados en campo.

Para el estudio general se seleccionaron aquellas estaciones que superasen los treinta años de precipitaciones, quince años de registros para las temperaturas y cinco para la humedad, insolación y evaporación (según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial para áreas llanas alejadas del mar). Igualmente se recogerán algunos datos puntuales de series menores por su proximidad a las lagunas seleccionadas.

Cuadro 1.- Índice general de estaciones meteorológicas.

CÓDIGO	NOMBRE	PROVINCIA	TIPO	AÑOS MUESTREADOS	LONGITUD (meridiano de Madrid)	LATITUD (N)	ALTITUD (m)
4-050	Puebla de Almoradiel	TOLEDO	P	1961-1990	0°34'E	39°35'	695
4-057	Corral de Almaguer	TOLEDO	P	1961-1968	0°31'E	39°45'	712
4-058	Lillo	TOLEDO	P	1951-1960	0°22'E	39°43'	684
4-059	Villa de Don Fadrique	TOLEDO	P	1961-1971	0°28'E	39°37'	672
5-059E	Villamayor de Santiago	CUENCA	P	1968-1990	0°45'E	39°44'	773
4-059I	Villacañas	TOLEDO	P	1969-1979	0°20'E	39°37'	665
4-060	Villanueva de Alcardete	TOLEDO	P	1961-1978	0°40'E	39°40'	725
4-061	Quintanar de la Orden	TOLEDO	P	1961-1990	0°38'E	39°36'	691
4-062	Miguel Esteban	TOLEDO	P	1971-1990	0°36'E	39°31'	679
4-064	Alcázar de San Juan	C.REAL	TP	1961-1990	0°28'E	39°23'	644
4-065	Urda	TOLEDO	P	1961-1990	0°02'W	39°24'	763
4-067	Madridejos	TOLEDO	TP	1967-1990	0°09'E	39°28'	689
4-068	Camuñas	TOLEDO	P	1961-1979	0°13'E	39°25'	674
4-069 4-069A	Villafranca de los Caballeros	TOLEDO	P C	1961-1990 1985-1992	0°19'E	39°25'	643
4-081	El Provencio	CUENCA	P	1961-1990	1°6'E	39°22'	701
4-089	La Alberca del Zancara	CUENCA	TP	1961-1990	1°11'E	39°31'	812
4-092	Las Pedroñeras	CUENCA	TP	1961-1990	1°0'E	39°27'	704

P= Pluviométrica; T= Termométrica; C= Completa.

Cuadro 1.- (continuación).

CÓDIGO	NOMBRE	PROVINCIA	TIPO	AÑOS MUESTREADOS	LONGITUD (meridiano de Madrid)	LATITUD (N)	ALTITUD (m)
4-095-E	El Pedernoso	CUENCA	P	1969-1979	0°56'E	39°29'	712
4-097	Socuéllanos	C. REAL	TP	1961-1990	0°54'E	39°17'	674
4-100	Mota del Cuervo	CUENCA	P	1961-1978	0°49'E	39°30'	704
4-101	El Toboso	TOLEDO	P	1963-1973	0°41'E	39°30'	692
4-102	Pedro Muñoz	C. REAL	P	1961-1981	0°44'E	39°24'	710
4-103	Tomelloso	C. REAL	TP	1971-1990	0°39'E	39°09'	662
4-104	Arenas de San Gregorio	C. REAL	P	1961-1981	0°39'E	39°18'	644
4-105	Campo de Criptana	C. REAL	P	1966-1990	0°33'E	39°24'	707
4-106	Alameda de Cervera	C. REAL	P	1961-1990	0°39'E	39°18'	646
4-106-I	Alcázar de San Juan "Las Perdigueras"	CIUDAD REAL	TP	1972-90	0°28'E	39°12'	651
4-107	Herencia	C. REAL	P	1961-1982	0°19'E	39°22'	642
4-108	Puerto Lápice	C. REAL	P	1961-1990	0°12'E	39°19'	675
4-109	Villarta de San Juan	C. REAL	P	1961-1990	0°15'W	39°14'	625
4-112	Villarrubia de los Ojos	C. REAL	P	1961-1978	0°4'E	39°13'	625
3-245	Tembleque	TOLEDO	P	1961-1980	0°11'E	39°40'	635

P= Pluviométrica;T= Termométrica

Todos los datos termopluviométricos incompletos han sido normalizados, para paliar los huecos o déficit de datos puntuales en algunos años. Se ha realizado a partir de las estaciones más cercanas que tuviesen series completas, siguiendo la fórmula de Lautensach (tomada de Kunov). Así, para la normalización de las temperaturas se aplica la fórmula siguiente:

$$A_n = N_n + A_m - N_m$$

Donde:

A = observatorio de series incompletas

N = observatorio de series completas

A_n = temperatura media normalizada en el observatorio A en n años

N_n = temperatura media en el observatorio N (para casi todas las estaciones 30 años)

A_m = temperatura media en el observatorio A en m años

N_m = temperatura media en el observatorio N (de series completas) en m años

n = serie de años completa (superior a 30 años); m = m años

Para la normalización de las precipitaciones, al ser un parámetro mucho más variable que las temperaturas, se han elegido varias estaciones cercanas (de series completas) por cada estación que requiere normalización de datos, con la siguiente fórmula:

$$P_a = 1:n ((N_a/N_b * P_b) + (N_a/N_c * P_c) + \dots + (N_a/N_n * P_n))$$

Donde:

P_a = dato de la precipitación que falta (serie incompleta)

P_b, P_c, \dots, P_n = precipitaciones registradas en las estaciones vecinas B, C, ..., durante el período en que se producía la laguna en A.

$N_a, N_b, N_c, \dots, N_n$ = medias de precipitación en las estaciones consideradas para el períodos en estudio (1961-1990).

No obstante, no se han normalizado, y por tanto no se han tenido en cuenta, las estaciones muy incompletas con "huecos" superiores a 5 años contiguos. Sobre los primeros se han calculado las medias mensuales y anuales para todas las estaciones que se exponen resumidas en los cuadros 3 y 4. Así mismo se incluyen los gráficos considerados más representativos del clima y los mapas de isolíneas que reflejarán las ligeras variaciones espaciales de los parámetros estudiados.

I.2. PRECIPITACIONES

Como se observa en el mapa 2 toda la *Mancha Húmeda* registra una pluviosidad baja, entre 300 y 500 mm de medias anuales durante el período 1961-1990, con diferencias espaciales en sentido SW-NE, en cuyo centro se halla una ensilladura, alcanzándose el mínimo en Villafranca de los Caballeros. Tanto en aquéllos como en los estacionales, se observa un área central muy seca, definida por la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, y entre éste y el Záncara, donde ninguna estación alcanza los 400 mm anuales. A ambos lados de este espacio (al NE y al SW) la precipitación se incrementa ligeramente hasta alcanzar el máximo en la provincia de Cuenca (556 mm en La Alberca del Záncara).

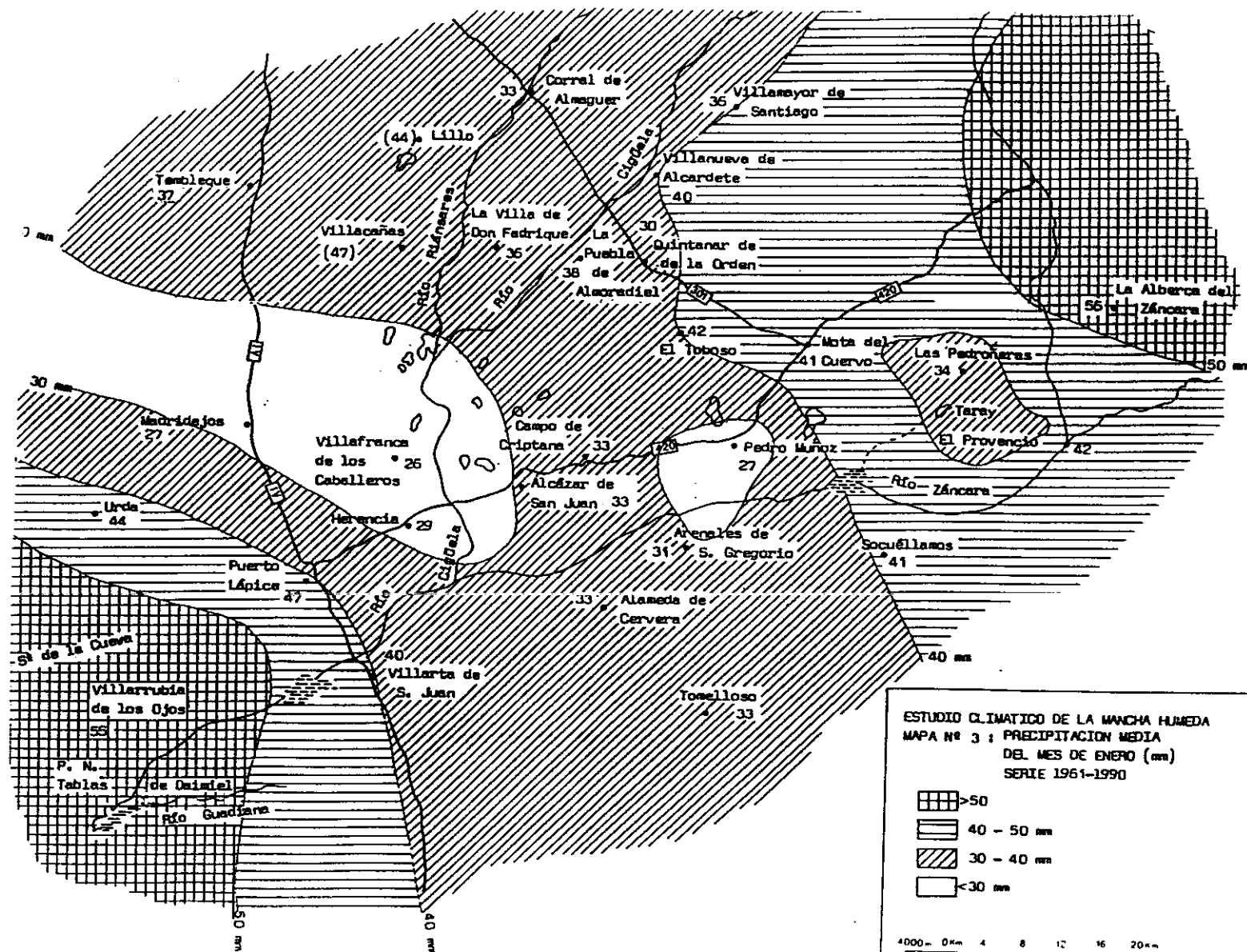
En esta amplia meseta donde se instala *La Mancha Húmeda* la distribución espacial de la pluviometría responde, más que a una diferencia altitudinal (unos 100-120 m de las estaciones más altas a las más bajas), a su exposición y mayor o menor alejamiento de los sistemas montañosos que enmarcan este espacio: Los Montes de Toledo y las estribaciones más occidentales del Sistema Ibérico (W-E) y, más alejados, pero con similar función en la dinámica atmosférica general -el Sistema Central y Sierra Morena (N-S). De este modo, las borrascas ya deterioradas que llegan casi desde cualquier dirección a La Mancha no dejan más que periódicos aguaceros, frecuentemente de carácter tormentoso pero de escasa cuantía anual.

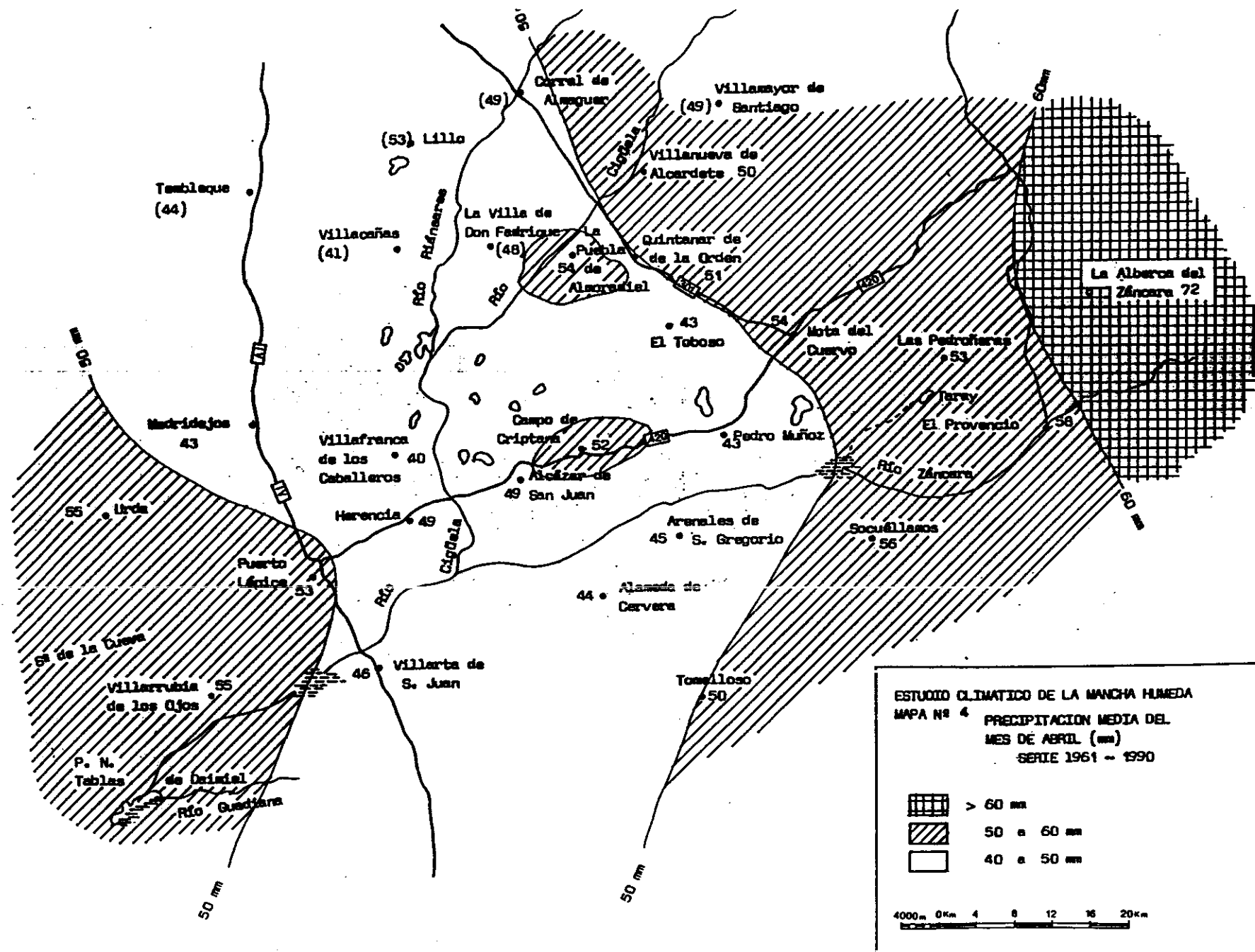
Respecto a la distribución temporal de las precipitaciones totales (ver mapas 3,4,5 y 6, y cuadros 3 y 4), se observa un marcado carácter estacional con un máximo invernal (del 31 al 36% de la precipitación anual), muy disputado por la primavera (31-34%) y superado por ésta en algunas estaciones (Villafranca de los Caballeros, Urda, Villa de Don Fadrique, etc.). Los valores mínimos siempre corresponden, como es lógico, al verano, con un 11-14% de la precipitación anual.

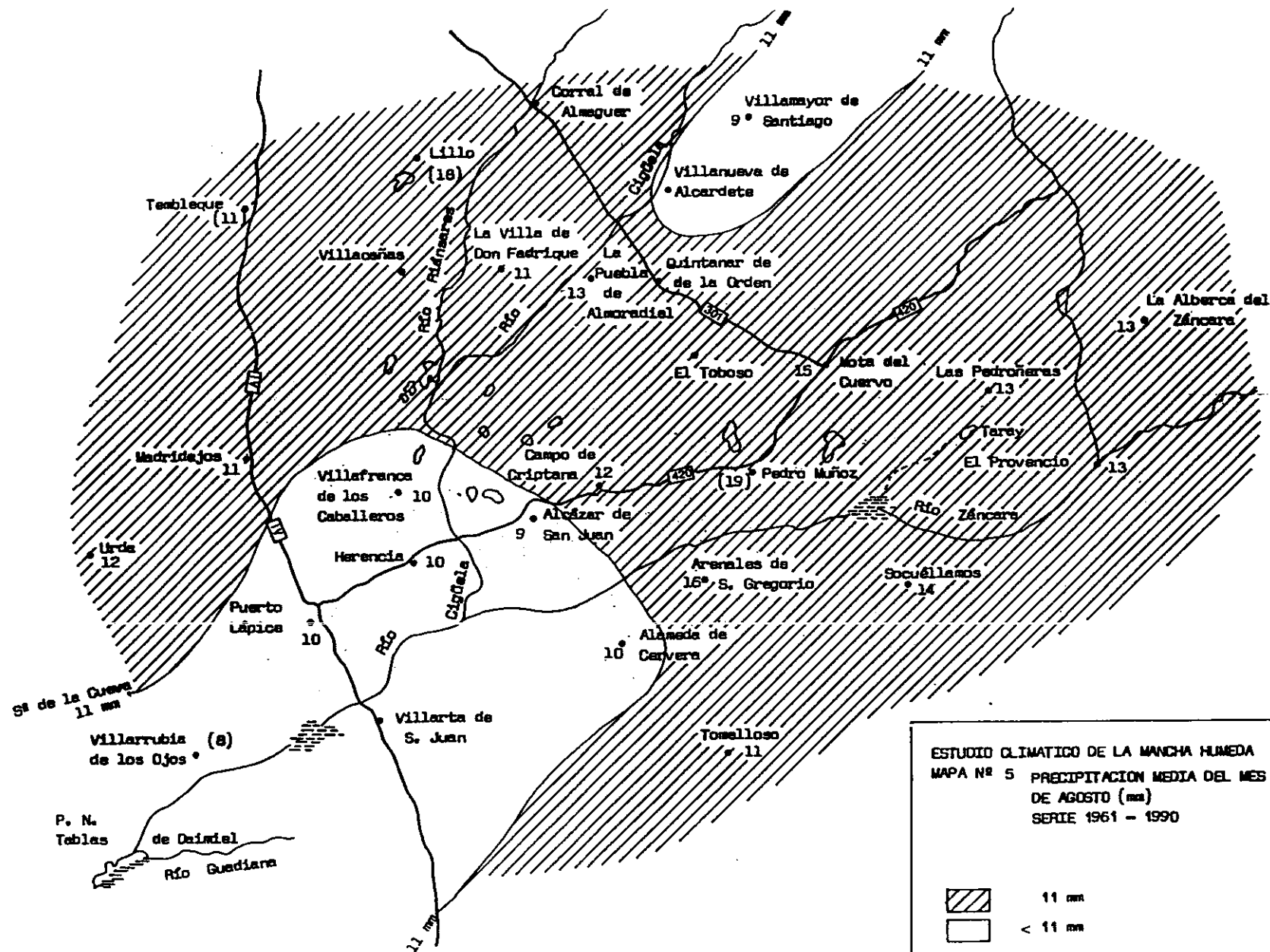
Durante todos los meses del año se mantienen las diferencias espaciales ya comentadas, donde se destaca la estación de Villafranca de Los Caballeros, en el sector del río Cigüela arriba señalado, por ser la más seca de la *Mancha Húmeda* (344 mm de precipitación media para el período 1961-1990).

Sin embargo, estos valores totales no lo dicen todo sobre su papel en el medio, siendo necesario el análisis de las precipitaciones diarias o máximas en 24 horas (ver cuadro 5). Por lo general, éstas son un tercio de las registradas en todo el mes y en doce días al año suele recogerse la misma cantidad que la total anual. Destacan valores máximos durante los meses de septiembre y octubre (ocasionalmente en mayo), donde no es raro superar los 40 mm/día.

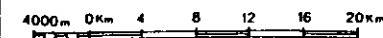
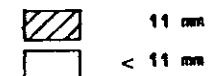
En el cuadro 2 se observa la elevada correlación entre las precipitaciones anuales y las producidas en 24 horas (de 0,92 a 0,6). Estas son siempre de carácter positivo, de modo que el volumen anual de las segundas tiene una evidente significación en las precipitaciones anuales. Sin embargo, la menor correlación no parece vincularse con la distribución espacial de las estaciones meteorológicas, ni de las diferentes higrocoras; sino más bien a series anuales cortas con datos pluviométricos contrastados.







ESTUDIO CLIMATICO DE LA MANCHA HUMEDA
 MAPA Nº 5 PRECIPITACION MEDIA DEL MES
 DE AGOSTO (mm)
 SERIE 1961 - 1990



Dada la escasa pendiente del terreno y la mermada red hidrográfica de *La Mancha Húmeda*, estas tormentas tienen, por lo general, claras repercusiones en el suelo y en las numerosas higrocoras, dando lugar a un notable aumento de los niveles de agua en las lagunas estacionales y, con frecuencia estas precipitaciones son las únicas capaces de poner en funcionamiento los colectores secundarios de los ríos Cigüela y Záncara y, con ellos su fuerza erosiva, por muy pequeña que ésta sea.

De manera puntual y ocasionalmente se han producido fuertes tormentas locales, (156 mm el 30-09-88 en Alcázar de San Juan; 112,4 mm el 24-05-1989 en El Provencio, etc), que producen grandes efectos ambientales. Durante estas horas, el suelo y la red de avenamiento existente son totalmente insuficientes para recoger y guiar el agua precipitada, colmando y desbordando los humedales del entorno y arrastrando una gran cantidad de materiales. No obstante, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor es la cuantía de la tormenta, menor es el radio de acción. Por lo tanto el efecto morfológico es más desastroso que el meteorológico, y en ambos casos evidentemente local.

Con características opuestas, la estación estival viene marcada por el predominio del anticiclón de las Azores que determina la escasez de lluvias (< 20 mm mensuales), frecuentemente de forma tormentosa, con valores en 24 horas entre el 60-90% de la lluvia registrada al mes, pero casi siempre de escaso valor cuantitativo. El mínimo se produce en casi todas las estaciones durante el mes de julio, debido al matiz continental del clima manchego.

Cuadro 2.- Correlaciones entre las precipitaciones totales anuales y en 24 horas, (1961-90).

Estaciones	C.C	Error	R ²	Estaciones	C.C.	E.ST	R ²
Mota del Cuervo	0,92	41,4	84,	Tembleque	0,76	59,8	58,
Villa de Don Fadrique	0,88	51,9	76,	Urda	0,76	82,4	57,
La Alberca del Záncara	0,84	124,0	70,	El Provencio	0,75	95,7	56,
Alcázar de San Juan	0,84	49,7	70,	Madridejos	0,71	59,1	50,
Campo de Criptana	0,84	49,1	69,	Las	0,71	68,6	50,
Villafranca de	0,82	44,2	67,	Socuéllamos	0,69	97,1	48,
Pedro Muñoz	0,82	57,5	66,	Lillo	0,63	105,2	40,
Corral de Almaguer	0,80	59,2	65,	Villarru. Ojos	0,61	55,8	37,
Arenales San Gregorio	0,80	56,0	64,	Villarta S	0,53	89,2	27,
Puebla de Almoradiel	0,77	65,9	58,	Villacañas	0,30	69,9	8,7

Cuadro 3.- Precipitaciones medias mensuales y anuales de la serie 1961-1990(mm).

CIUDAD REAL	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Alameda de Cervera	33	40	31	44	35	25	7	10	21	40	43	44	373
Alcázar de San Juan	33	39	35	49	38	27	9	11	27	37	48	43	396
Arenales S.Gregorio	31	42	31	45	41	31	7	16	22	45	43	42	396
Campo de Criptana	33	41	36	52	41	27	9	12	18	36	51	37	393
Herencia	42	42	40	50	36	33	11	10	27	35	38	44	408
Pedro Muñoz	27	44	42	43	46	24	7	19	25	37	39	47	401
Puerto Lápice	47	53	40	53	34	32	10	10	28	42	58	60	469
Socuéllamos	41	52	45	56	51	34	11	14	32	46	54	48	484
Tomelloso	33	41	31	50	44	29	13	12	19	43	43	40	398
Villarrubia d. Ojos	55	60	42	49	34	30	9	8	28	40	49	57	461
Villarta de San Juan (*)	40	38	37	46	38	28	9	6	21	36	47	46	391

CUENCA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
La Alberca del Zancara	56	64	50	72	54	35	13	13	31	53	66	65	556
Mota del Cuervo	41	45	44	54	42	35	8	15	30	39	44	47	445
Las Pedroñeras	35	45	39	53	42	31	9	13	26	40	58	46	439
El Provencio	42	56	42	58	51	30	10	13	29	48	58	50	484
Villamayor de Santiago (*)	36	43	38	49	45	28	10	14	25	46	46	50	432

TOLEDO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Corral de Almaguer(*)	33	48	35	49	31	30	5	2	30	41	65	30	399
Lillo(*)	44	52	53	53	56	41	7	18	30	51	42	50	496
Madridejos	28	33	29	43	36	28	11	11	16	35	39	37	346
Puebla de Almoradiel	38	47	38	54	38	32	9	13	25	49	49	46	438
Quintanar de la Orden	31	38	36	49	40	30	9	11	27	28	31	33	363
Tembleque	37	46	36	37	44	34	13	11	28	38	41	45	410
El Toboso(*)	42	55	41	43	34	31	7	0	40	32	60	36	420
Villacañas(*)	47	45	35	41	44	37	26	33	27	50	37	36	457
Villa de D.Fadrique(*)	36	43	39	48	37	38	9	11	26	43	41	39	410
Villafranca d.l.Cabal.	26	31	32	40	33	31	12	10	21	32	39	37	344

(*) = Estaciones pluviométricas con menos de 25 años de registro.

Cuadro 4.- Régimen estacional de las precipitaciones (en mm y %).

	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Alameda de Cervera	115	34	105	31	38	11	104	30
La Alberca Záncara	179	35	162	31	57	11	150	29
Alcázar de S Juan	117	32	114	31	47	13	112	31
Arenales S Gregorio	115	32	117	32	45	12	110	30
Campo de Criptana	114	32	120	33	39	11	105	29
Madridejos	99	31	107	34	38	12	90	28
Mota del Cuervo	136	34	132	33	53	13	113	28
Las Pedroñeras	130	32	126	31	48	12	124	31
Puerto Lápice	153	36	119	28	48	11	128	30
Puebla Almoradiel	131	33	124	31	47	12	123	31
Tembleque	127	34	115	31	52	14	107	29
Socuéllamos	145	33	141	32	57	13	132	30
El Provencio	148	33	139	31	52	12	135	30
Urda	137	32	135	32	53	13	128	30
Villa Don Fadrique	121	32	123	33	46	12	110	29
Villafranca Caballeros	100	31	104	33	43	14	92	29

Cuadro 5:

P.1 = Porcentaje de la precipitación máxima en 24 horas respecto a la total mensual.

P.2 = Precipitación media de los máximas diarias, (mm).

CUENCA		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
La Alberca Záncara	P.1	30	31	34	33	33	58	69	62	48	38	33	32	37
	P.2	17	20	17	24	18	21	9	8	15	20	22	21	213
Mota del Cuervo	P.1	27	31	34	39	38	42	63	73	50	41	36	36	39
	P.2	21	16	17	24	18	18	5	11	16	18	17	19	200
Las Pedroñeras	P.1	31	29	38	36	43	52	67	69	62	38	36	30	40
	P.2	11	13	15	19	18	16	6	9	16	15	21	15	175
El Provencio	P.1	36	34	33	34	35	43	60	54	52	42	36	28	38
	P.2	15	19	14	20	18	14	6	7	15	19	21	14	182

Cuadro 5.- Continuación.

CIUDAD REAL		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Alameda Cervera	P.1	30	30	35	34	40	46	71	60	57	43	37	32	39
	P.2	10	12	11	15	14	12	5	6	12	17	16	14	145
Alcázar S. Juan	P.1	30	31	34	37	37	48	67	64	67	41	35	35	40
	P.2	10	12	12	18	14	13	6	7	18	15	17	15	158
Arenales S.Gregorio	P.1	32	31	39	33	34	52	86	69	55	42	35	36	40
	P.2	10	13	12	15	14	16	6	11	12	19	15	15	157
Campo de Criptana	P.1	33	32	39	31	34	44	67	67	61	42	33	32	38
	P.2	11	13	14	16	14	12	6	8	11	15	17	12	149
Puerto Lápice	P.1	34	30	35	28	44	47	60	60	54	40	34	33	36
	P.2	16	16	14	15	15	15	6	6	15	17	20	20	171
Socuéllamos	P.1	27	31	31	34	35	47	73	50	41	39	35	29	178
	P.2	11	16	14	19	18	16	8	7	13	18	19	14	175
Villarrubia d. Ojos	P.1	27	25	36	35	50	43	67	63	54	38	35	35	37
	P.2	15	15	15	17	17	13	6	5	15	15	17	20	171

TOLEDO		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Madridejos	P.1	43	42	38	37	39	50	82	91	56	51	46	46	47
	P.2	11	15	12	17	15	15	9	10	9	18	19	17	166
Puebla de Almoradiel	P.1	29	28	39	33	34	47	78	69	52	35	35	33	37
	P.2	11	13	15	18	13	15	7	9	13	17	17	15	160
Tembleque	P.1	27	30	39	41	36	53	62	55	40	37	41	38	40
	P.2	10	14	14	15	16	18	8	6	13	14	17	17	162
Urda	P.1	32	28	32	31	36	42	70	58	52	40	31	33	37
	P.2	14	13	12	17	15	16	7	7	16	17	17	18	172
Villa de D.Fadrique(*)	P.1	31	35	44	42	46	47	56	82	50	40	39	41	42
	P.2	11	15	17	20	17	18	5	9	13	17	17	15	174
Villafranca d.l.Cabal.	P.1	42	39	41	38	42	55	58	90	52	47	41	38	45
	P.2	11	12	14	15	14	17	6	10	11	15	15	14	153

Tipo y frecuencia de las precipitaciones

La *Mancha Húmeda* por su latitud y altitud registra la mayor parte de las precipitaciones en forma de lluvias. No obstante, caben hacer algunas observaciones, entre las que se destacan:

- Las lluvias suelen aparecer durante todos los meses del año, con una notable reducción durante el verano. Estas precipitaciones, como se apunta arriba no son muy abundantes, se distribuyen con una media de 6 a 9 días de lluvia por mes, descendiendo a uno ó dos días en julio y agosto.

- El mayor número de días de lluvia se producen entre los meses de enero, marzo y mayo, diciembre y noviembre (orden descendente).

- Las nieves, siempre ocasionales, se producen entre los meses de noviembre y abril (ambos inclusive), siendo febrero y marzo los que registran mayor precipitación nival. Esta, en los años que se produce, no suele superar los 2-3 días mensuales, debido a que las advecciones del nordeste son infrecuentes en la Península en favor de una mayor influencia invernal del anticiclón centroeuropeo (frío, pero seco).

- El granizo, al igual que la nieve sólo se produce ocasionalmente durante 1-2 días al mes. Sin embargo, frente a la distribución invernal del primero, el granizo puede aparecer en cualquier estación del año. No obstante, debe destacarse que en los meses septiembre y octubre muchas estaciones meteorológicas de La Mancha nunca han registrado este tipo de precipitación (Las Pedroñeras, Herencia, Quintanar de la Orden, etc.). Por el contrario, los meses con mayor frecuencia de días de granizo son abril, mayo y febrero, por lo general sujeto a situaciones sinópticas muy variadas.

- Las tormentas, como ya señalaba García de Pedraza¹ se producen con más frecuencia en los meses de verano- entre mayo y septiembre, con máximos en junio y septiembre y, bajo el predominio de advecciones del SW.

Régimen pluviométrico

Una vez conocidas a grandes rasgos las características pluviométricas de La Mancha se ha intentado establecer algunas diferencias dentro de la comarca y hacer algunas observaciones sobre el comportamiento de las precipitaciones. Para ello se han seleccionado cuatro estaciones pluviométricas (de cuatro intervalos diferentes del mapa 1), a las que se le aplica un tratamiento estadístico que se expone en el cuadro 6. De él se

¹. - En el prólogo de la obra de ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRÁN, L. (1981): *Estudio Agroclimático de la región Castilla-La Mancha*. Departamento de Agricultura de la Junta de Comunidades Castilla-La Mancha. 1981. Pág. 36.

obtiene:

1- Todas las medidas de centralización apuntan la diferencia espacial expresada en el mapa de isobaras, donde el sector: Villafranca de los Caballeros-Alcázar de San Juan se presentan como el "más seco" de *La Mancha Húmeda*. Sólo la moda da resultados diferentes, aunque se considera que tiene poco interés pues rara vez se producen valores pluviométricos iguales.

2- Las precipitaciones anuales durante el período 1961-90 reflejan mayor desviación y error estándar en las estaciones más húmedas que en las más secas (Socuéllamos 132,8-24,2 y Villafranca de los Caballeros 75,8-13,8 respectivamente). Esto responde a una mayor amplitud y rango de los primeros, con años "húmedos" en torno a 500-700 mm anuales y años "secos" de 200-300 mm. En el segundo grupo cabe esperar poca variación interanual (mínimos de 213 mm y máximos de 460 mm).

Cuadro 6: Datos estadísticos de las precipitaciones anuales del período 1961-1990.

	Alcázar de San Juan	Las Pedroñeras	Socuéllamos	Villafranca de los Caballeros
Tamaño muestra	30	30	30	30
Media	396	436	484	344
Mediana	375	423	510	334
Moda	578	418	498	441
Media geométrica	386	425	464	335
Varianza	8.129	9.104	17.642	5.736
Desviación ST	90,2	95,4	132,8	75,8
Error ST	16,5	17,4	24,2	13,8
Mínima	267	235	224	213
Máxima	578	631	701	460
Rango	311	396	477	247
Cuartil inferior	311	359	359	294
Cuartil superior	480	515	614	411
Rango intercuar.	169	156	255	117
Sesgo	0,6	0,11	-0,23	-0,21
Sesgo St	1,33	0,25	-2,52	-0,47
Curtosis	-0,78	-0,42	-0,14	-1,11
Curtosis ST	-0,87	-0,47	-1,27	-1,24

3- Las precipitaciones son más contrastadas espacialmente en años húmedos que en los secos; hecho que se refleja en la similitud de los cuartiles inferiores, mientras que los superiores son más diferenciados. Esta afirmación parece estar en relación con el carácter

tormentoso de las precipitaciones manchegas, de modo que durante los años más húmedos los registros pluviométricos son bastante desiguales, mientras que la sequía afecta casi por igual en toda *La Mancha Húmeda*.

4- Los análisis estadísticos parecen confirmar las notables diferencias pluviométricas en *La Mancha Húmeda*, que se resumen gráficamente en los mapas de isoyetas realizados con la media aritmética. Así, queda una clara gradación desde un sector más árido en torno a Villafranca de los Caballeros y un aumento progresivo de las precipitaciones, especialmente hacia el E.

I.3. TEMPERATURAS

Como se observa en el mapa 7 las temperaturas medias (Tm) de *La Mancha Húmeda* oscilan entre 14,1 y 15,3, con mínimos en enero de 5°C en Socuéllamos a 6,2°C en Campo de Criptana y, máximos preferentemente en julio de 25,2°C Socuéllamos a 26,6°C en Madridejos.

Las temperaturas máximas absolutas (TMA) más elevadas se producen principalmente en los meses de julio y agosto, alcanzando los 43°C en Madridejos los días 29-7-81 y el 2-8-81. En todo el sector manchego es muy usual temperaturas absolutas por encima de los 40°C durante el estío, siendo julio el mes más caluroso- variando de un 74% de los años con T.M.A. superiores a 40°C en Madridejos, a un 23% en Las Pedroñeras. Estos valores descienden considerablemente en agosto (30% de los años en Madridejos y 6,6% en Las Pedroñeras). Ocasionalmente, estas altas temperaturas se advierten en junio y septiembre, pero tan sólo durante uno o dos años cada treinta (un 4-5%). Las TMA, muy elevadas casi todo el año, sólo descienden de 20°C en los meses centrales del invierno, con valores medios entre 14,3 y 19,5°C.

Las temperaturas medias mensuales de las máximas (TMM) presenta valores entre 32,1° y 34,6°C en verano (Alcázar de San Juan y Tomelloso respectivamente), diferencias que no responden a ligeras variaciones de altitud (ver temperaturas medias máximas de Las Pedroñeras y Campo de Criptana), ni de exposición, sino más bien al régimen local de los vientos. Así en el caso de Alcázar de San Juan los vientos del oeste traen algo de humedad de las lagunas de su entorno y Villafranca de Los Caballeros, "refrescando" las temperaturas respecto al resto de la comarca. Este fenómeno no es general en *La Mancha húmeda*, debido al carácter estacional de la mayor parte de las lagunas.

Las TMM son en cualquier caso muy elevadas en toda Mancha durante los meses centrales del verano pues exceden de 32°C.

Las temperaturas mínimas absolutas (Tma) más bajas se produjeron en Socuéllamos (Ciudad Real), con -35°C el 1 de enero de 1985 y -19°C el 3 de enero de 1971. En general, es este mes el más frío, aunque pueden producirse algunos años en febrero o diciembre. Los años más fríos del período son 1971, 1983 y 1985; todos ellos bajo la influencia del anticiclón centroeuropeo.

Toda *La Mancha Húmeda* presenta mínimos absolutos inferiores o igual a 0°C entre los meses de noviembre y abril, con una evidente relación con la duración de los

períodos de heladas segura.

Las temperaturas medias mensuales de las mínimas (Tmm) son muy bajas durante el invierno, destacando la estación de Las Pedroñeras con el valor medio del período 1961-90 más bajo ($-0,4^{\circ}\text{C}$ en diciembre) y las restantes estaciones con valores muy próximos a 0°C , pero positivos. De los 30 años analizados en Las Pedroñeras el 70 % tiene T.m.m. inferiores a 0°C en diciembre, mientras que esta cifra se reduce al 25 % en Tomelloso y en Madridejos.

En general, las temperaturas tendrán una especial incidencia en el tipo de vegetación existente en esta comarca, pues son 2 las condiciones climáticas a las que tendrán que adaptarse las distintas especies vegetales. Una, a un invierno frío, con T.m. inferiores a 7°C y a un verano muy caluroso, con TMM superiores a 30°C . Así mismo, estas características térmicas tendrán un papel destacado en los diferentes procesos edáficos (eflorescencias salinas, suelos poligonales, potenciales redox, etc.) y que se analizarán en los capítulos posteriores.

En cuanto a la oscilación diaria de la temperatura o diferencia en grados centígrados entre la máxima y la mínima diaria, *La Mancha Húmeda* presenta valores medios de $23,9$ a $25,7^{\circ}\text{C}$ en Alcázar de San Juan y Tomelloso respectivamente. La mayor oscilación se origina, por lo general, en junio (mayo en segundo lugar), mes con gran insolación diurna, pero con noches todavía muy frescas. La mínima se sitúa en el mes de diciembre y enero, con valores entre $18,6^{\circ}\text{C}$ en Madridejos y $22,2^{\circ}\text{C}$ en Las Pedroñeras y Tomelloso. Esta reducción responde a las frecuentes nieblas de irradiación del invierno, que mantienen valores de humedad relativa media en torno al 100%.

La amplitud anual de las temperaturas o diferencia entre la temperatura media máxima del mes más cálido y la temperatura media mínima del mes más frío, es muy elevada, con ligeras variaciones desde Alcázar de San Juan, que presenta la menor oscilación anual (32°C) a la más elevada en Tomelloso ($34,5^{\circ}\text{C}$). Todos estos valores reiteran una vez más el matiz continental del clima manchego.

El período de heladas analizado en las estaciones termométricas (Alcázar de San Juan, Campo de Criptana, Tomelloso, Las Pedroñeras, Madridejos y Socuéllamos) es común desde el mes de octubre al de abril, variando de unas estaciones a otras el día en que se producen aquéllas. Así, la fecha más temprana la registra la estación de Las Pedroñeras (Cuenca) el 14 de octubre de 1975 y la más tardía esta misma estación, el 31 de abril de 1983.

Habría que hacer una salvedad con una segunda estación de Alcázar de San Juan, denominada Las Perdigueras y situada al sur del río Záncara, en la cual, el período de heladas se extiende desde octubre (día 3 en 1973) hasta mayo en los años 1972 (día 18), 1975 (día 5) y 1983 (día 1).

Atendiendo a las representaciones gráficas de Walter Lieth se observa una época del año de heladas probables, comprendida entre noviembre y abril (reducida hasta marzo en Tomelloso), y un período de heladas seguras bastante inferior, y perceptible sólo en Las Pedroñeras, desde mediados de noviembre a finales de enero. Esta estación se define, dentro de *La Mancha Húmeda*, como la más fría por su altitud y posición orográfica (a sotavento de las estribaciones de La Serranía de Cuenca).

Cuadro 7.1.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Alcázar de San Juan de la serie 1961-1990.

	E	F	M	A	MY	J	JL	AG	S	O	N	D	AÑO
TMA	18,0	25,0	29,0	31,0	35,0	39,0	41,0	41,0	39,5	31,0	29,0	20,0	31,5
TMMA	15,6	18,5	22,9	25,6	30,4	35,1	38,2	37,3	33,8	27,9	21,0	15,9	26,8
TMM	10,8	12,2	15,1	17,9	22,8	28,2	32,7	32,1	27,8	21,0	14,2	10,4	20,4
Tm	5,8	7,0	9,2	11,9	16,4	21,4	25,3	24,8	21,3	15,3	9,3	5,8	14,4
Tmm	0,7	1,7	3,3	5,9	9,9	14,5	17,9	17,6	14,7	9,6	4,4	1,3	8,5
Tmma	-4,5	-3,6	-2,5	-0,7	4,4	8,7	13,1	12,5	8,6	3,2	-1,8	-4,3	2,9
Tma	-11,0	-14,0	-7,0	-2,0	1,0	4,0	9,0	10,0	4,0	-1,0	-5,0	9,0	-0,2

TMA = Temperatura máxima absoluta; TMMA = T. media de las máximas absolutas; TMM = T. media de las medias máximas; Tm = Temperatura media; Tmm = T. media de las medias mínimas; Tmma = T. medias de las mínimas absolutas y Tma = T.mínima absoluta.

Cuadro 7.2.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Campo de Criptana de la serie 1966-1990.

	E	F	M	A	MY	J	JL	A	S	O	N	D	AÑO
TMA	23,0	25,0	31,0	32,0	36,0	40,0	41,0	41,0	41,0	33,0	29,0	24,0	33,0
TMMA	16,9	19,8	24,6	27,3	31,0	36,2	39,2	38,6	35,3	30,2	23,5	18,0	28,4
TMM	11,2	12,7	16,2	18,5	23,1	28,9	34,0	33,4	29,3	22,4	15,5	11,3	21,4
Tm	6,2	7,3	11,6	12,3	16,3	20,0	25,3	26,6	23,1	16,4	10,3	7,1	15,3
Tmm	1,3	2,1	3,7	5,9	9,8	14,6	18,1	17,9	14,8	10,1	5,0	1,8	8,8
Tmma	-4,4	-3,0	-2,1	0,3	3,9	9,2	13,5	13,3	9,0	3,8	-1,0	-3,7	3,0
Tma	-14,0	-8,0	-7,0	-3,0	2,0	4,0	9,0	10,0	5,0	-1,0	-4,0	-8,0	-1,2

Cuadro 7.3.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Socuéllamos (CR) de la serie 1961-1990.

	E	F	M	A	MY	J	JL	AG	S	O	N	D	AÑO
TMA	19,0	25,0	28,0	30,0	43,0	42,0	42,0	40,5	41,0	33,0	26,0	20,0	32,4
TMMA	14,7	17,9	22,7	25,8	31,5	35,6	39,4	38,1	34,1	27,7	20,2	15,3	26,8
TMM	9,6	11,4	14,8	17,8	23,6	28,6	33,9	33,4	28,0	20,6	13,5	9,6	20,4
Tm	5,0	6,2	8,8	11,6	16,4	21,1	25,4	25,2	20,9	14,8	8,8	5,2	14,1
Tmm	0,3	1,0	2,7	5,3	9,3	13,6	17,0	17,1	13,8	8,9	4,0	0,8	7,8
Tmma	-6,6	-5,3	-3,5	-0,3	3,6	8,4	12,4	12,7	8,3	2,4	-2,9	-5,3	2,0
Tma	-35,0	-15,3	-15,0	-5,0	0,0	2,5	7,0	8,0	4,0	-3,0	-6,5	-10,0	-5,7

Cuadro N° 7.4.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Tomelloso (CR) de la serie 1971-1990.

	E	F	M	A	M	J	JL	AG	S	O	N	D	AÑO
TMA	24,0	26,0	31,0	31,0	37,0	41,0	42,0	40,0	40,0	37,0	27,0	23,0	33,2
TMMA	16,2	19,5	24,2	27,0	30,6	36,5	39,8	38,3	34,6	29,6	22,8	17,6	28,1
TMM	11,0	13,3	16,6	19,3	23,5	29,9	34,6	33,7	29,2	22,4	16,0	11,8	21,8
Tm	5,7	7,3	9,7	12,3	16,4	22,0	26,2	25,5	21,6	15,5	10,0	6,6	15,0
Tmm	0,1	1,3	2,8	5,3	9,2	14,0	17,7	17,3	14,0	8,5	3,9	1,3	8,1
Tmma	-5,9	-4,4	-2,6	-0,6	3,4	8,9	13,4	12,6	8,4	2,8	-2,7	-4,6	2,4
Tma	-18,0	-11,0	-9,0	-5,0	1,0	4,0	12,0	9,0	4,0	-1,0	-9,0	-	-2,8
												11,0	

Cuadro 7.5.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Las Pedroñeras (CU) de la serie 1961-1990.

	E	F	M	A	MY	J	JL	AG	S	O	N	D	AÑO
TMA	20,0	24,0	31,0	29,1	36,1	40,6	42,0	41,0	38,5	31,5	28,0	22,6	32,0
TMMA	15,4	17,7	22,4	24,1	29,6	35,0	38,4	37,2	33,2	27,6	21,0	16,3	26,4
TMM	11,2	13,0	15,7	18,3	23,0	28,3	33,2	32,9	28,6	22,1	15,6	11,8	21,4
Tm	5,6	6,9	8,9	11,3	15,5	20,3	24,3	24,1	20,5	14,9	9,2	5,7	14,1
Tmm	-0,1	0,7	2,0	4,3	7,9	12,2	15,4	15,2	12,3	7,7	2,7	-0,4	6,8
Tmma	-5,8	-4,6	-3,1	-0,4	3,0	7,3	10,8	11,0	7,0	2,2	-3,2	-5,9	1,5
Tma	-18,5	-16,3	-7,0	-1,5	0,0	5,0	7,0	5,0	2,0	-4,0	-6,0	-	-3,9
												12,5	

Cuadro 7.6.- Temperaturas (°C) medias mensuales y anuales de Madridejos (TO) de la serie 1967-1990.

	E	F	M	A	MY	J	JL	AG	S	O	N	D	AÑO
TMA	21,0	24,0	33,0	31,0	36,0	41,0	43,0	43,0	40,0	34,0	28,0	19,0	32,8
TMMA	14,9	17,5	23,5	26,0	31,2	36,6	40,0	38,9	34,8	28,9	20,7	14,6	27,2
TMM	9,7	11,7	15,4	17,8	22,6	29,2	34,5	33,6	28,7	21,3	13,7	9,6	20,2
Tm	5,3	6,9	9,5	12,0	16,3	22,0	26,4	25,6	21,4	15,3	9,2	5,6	14,4
Tmm	0,9	2,0	3,6	6,1	9,9	14,8	18,2	17,5	14,1	9,3	4,6	1,5	8,5
Tmma	-5,0	-3,4	-1,9	-0,4	3,7	9,3	13,3	12,8	8,9	3,7	-1,0	-4,0	2,5
Tma	-12,0	-11,0	-7,0	-4,0	-1,0	4,0	10,0	10,0	4,0	-1,0	-4,0	8,0	-0,3

I.4. OTRAS VARIABLES CLIMÁTICAS

Los parámetros que se comentan a continuación se refieren a la única estación meteorológica completa existente en este espacio, situada en las inmediaciones de Villafranca de Los Caballeros (Toledo), dentro del área pluviográfica más seca.

La humedad relativa media anual es bastante elevada durante el período 1985-1992 (81%), siendo el año menos húmedo 1991 (75%) y el de mayor humedad 1989 (85%), aunque todos ellos dan una clara muestra de la continentalidad del clima. Durante todo el año los valores medios son superiores al 60 % (ver fig.2), y están muy próximos al 100% en los meses de invierno, con frecuente condensación, formación de nieblas y escaso caldeoamiento diurno. Por el contrario, la media del verano se mantiene en torno a los 62-64%, a consecuencia de la escasez de agua y de las elevadas temperaturas.

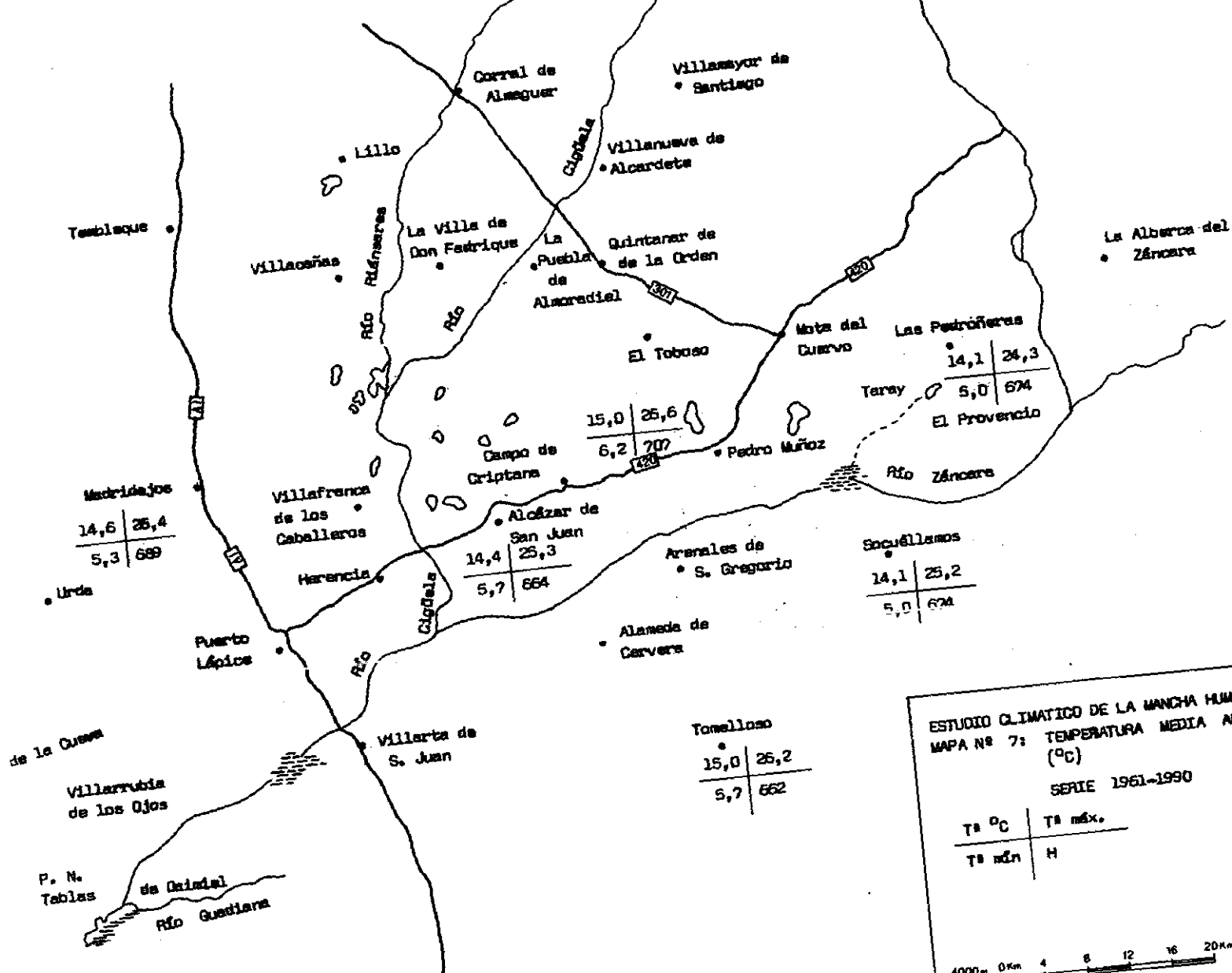
La insolación media durante el mismo período es igualmente alta con 2.650 horas por año, muy similares a los valores mencionados por JUÁREZ² para el período 1940-1970 (2.700 h/año). La distribución mensual, expuesta en la figura 3, señala el mayor porcentaje en julio con 24,7 al que le siguen agosto y junio con 24 y 20,7 respectivamente. El mínimo corresponde con la mayor pluviosidad en el mes de enero, donde se registra una media de 13,4%.

La evaporación muy elevada durante casi todo el año es una muestra evidente de la aridez del clima manchego, aunque se debe tener en cuenta que ésta se refieren al área más seca de *La Mancha húmeda*. La figura 4 indica valores anuales medios de 1.599 mm (máximo en 1989 con 1.818 mm y mínimo en 1991 con 1.307 mm). El fuerte aumento de la evaporación estival (765 mm; 48% anual), frente a la escasez de precipitaciones (42 mm; 12% anual) dan como resultado un tórrido verano con grandes déficit de agua como se tratará en el punto siguiente. Cabe destacar el mes de abril con menos evaporación que en marzo, debido al aumento de la nubosidad y días de lluvia (entre 10-15 días/mes en el primeros frente a 4-8 en marzo).

Estas tres variables presentan una correlación casi perfecta, siendo de carácter negativa entre la humedad y la evaporación ($-0,99$; $r^2=97,4\%$) y, entre la primera y la insolación ($-0,96$; $r^2=92,6\%$). Por el contrario la relación es directa entre la evaporación y la insolación ($0,99$; $r^2=97,3\%$).

Los vientos dominantes durante los días de lluvia proceden principalmente del E (28%), y en especial son persistentes durante el otoño y primavera. A estos le siguen los vientos del SE (de mayo a octubre) y W (de enero a agosto) ambos con una frecuencia del 9% anual. Por último, los vientos del S (S, SSW y SSE) con una frecuencia del 18 % pueden estar presentes en cualquier época del año, aunque son más persistentes durante el invierno, abril y julio. (Ver fig. 5).

²JUÁREZ SÁNCHEZ-RUBIO, C.: *Caracteres climáticos de la Cuenca del Guadiana y sus repercusiones agrarias*. Ediciones Universidad de Salamanca. 1979. pág. 26.



ESTUDIO CLIMATICO DE LA MANCHA HUMEDA
 MAPA Nº 7: TEMPERATURA MEDIA ANUAL
 (°C)

SERIE 1961-1990

Ta °C	Ta máx.
Ta mín	H



Fig. 2.- Humedad relativa de Villafranca de los Caballeros.

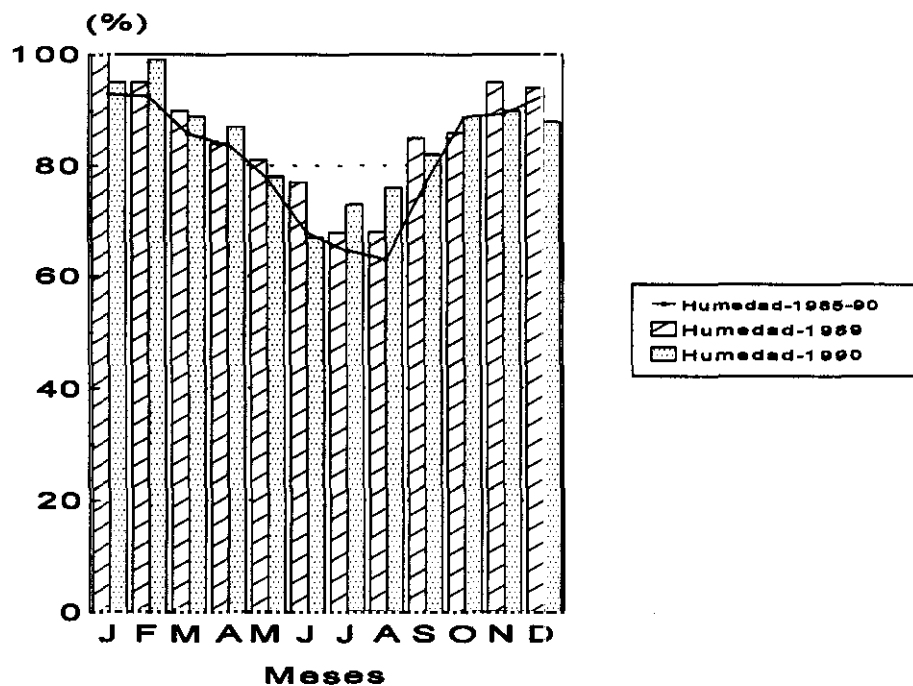


Fig.3.- Insolación media en Villafranca de los Caballeros (Toledo)

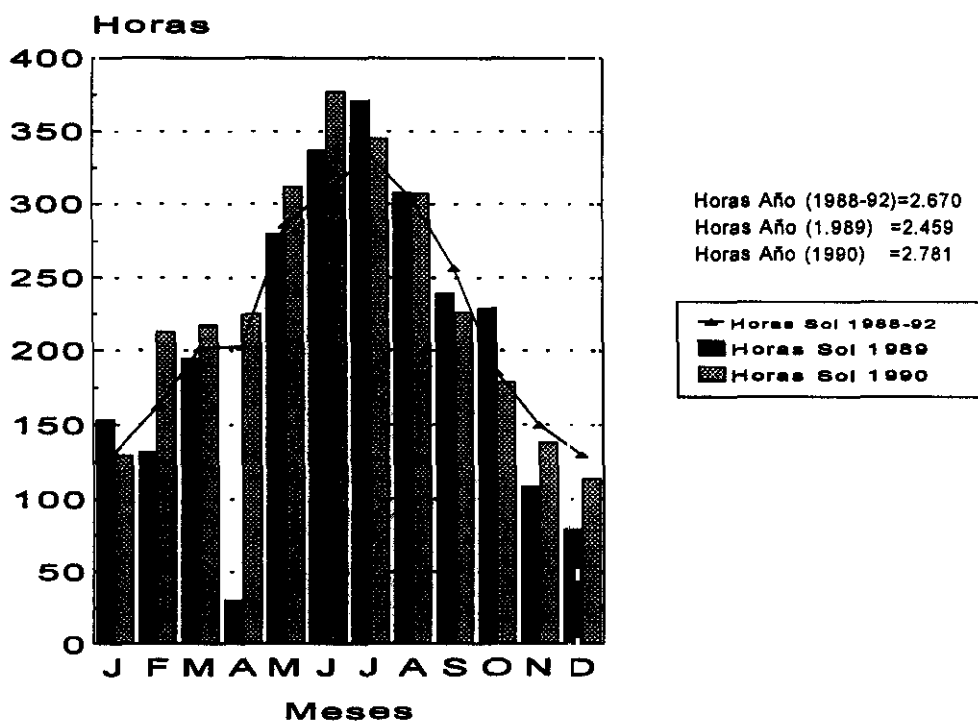


Fig. 4.- Evaporación mensual en Villafranca de los Caballeros.

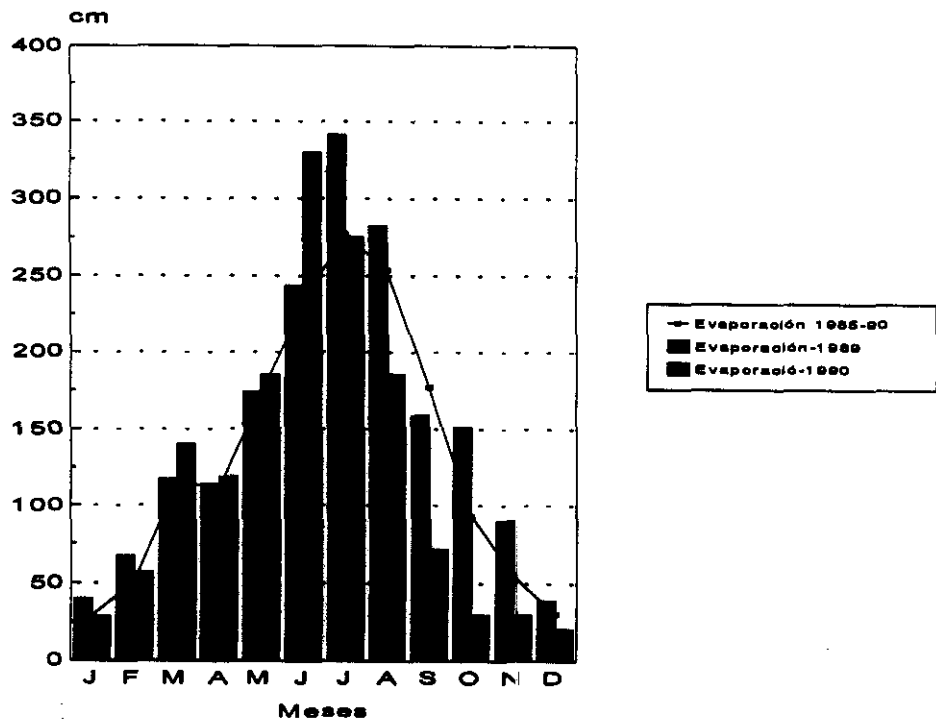
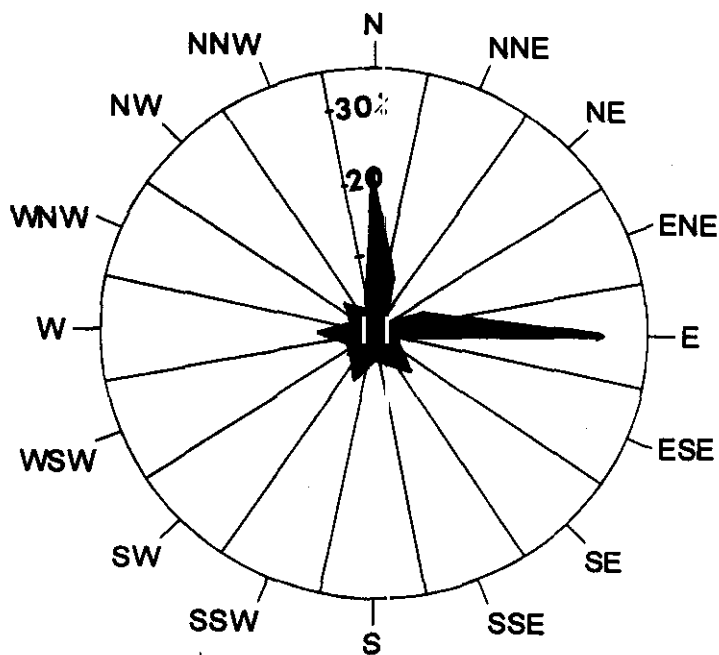


Fig. 5.- Rosa de los vientos dominantes durante los días de lluvia en Villafranca de los Caballeros. (Valores medios anuales del período 1985-1992).



I.5. REGÍMENES CLIMÁTICOS Y DINÁMICA ATMOSFÉRICA

La *Mancha Húmeda* viene determinada a nivel regional por su matiz continental, por ser un área deprimida dentro del conjunto de la Meseta y por estar enmarcada por alineaciones montañosas (Sistema Central, Montes de Toledo, Sierra Morena y Serranía de Cuenca), quedando a sotavento de las distintas situaciones sinópticas que afectan a la Península. Estas se distribuyen a lo largo del año del siguiente modo:

- Del invierno a primavera, la circulación general de vientos del W (NW, WNW y W) y SW hace penetrar al interior de la Península la influencia atlántica a través de las cuencas de los ríos Tajo y Guadiana, aunque a La Mancha llega ya muy mermada.

- Durante el invierno predomina con frecuencia el régimen anticiclónico de aire frío y seco. Estas situaciones de altas presiones no dejan ningún tipo de precipitación, sin embargo sí tienen una clara influencia en el régimen de heladas. Así, ocasionalmente cuando el viento del NE arrastra aire frío de origen siberiano, se producen heladas de advección, aunque como se advierte más adelante, son más frecuentes las heladas de irradiación, producidas durante las noches de invierno con aire despejado y poco viento.

En las diferentes higrocoras y en sus entornos próximos, se observan con frecuencia nieblas de irradiación, producidas por la existencia de humedad, una atmósfera en calma y un rápido enfriamiento nocturno, alcanzándose el punto de rocío y produciéndose la consiguiente condensación de la humedad. Estas nieblas también producidas durante el otoño o primavera, son especialmente persistentes durante los meses de enero y diciembre, debido a que los tres principales factores que la producen (humedad, enfriamiento nocturno y estabilidad atmosférica) alcanzan sus valores máximos.

- Los vientos del norte son frenados por la Cordillera Central, quedando toda La Mancha "a la sombra orográfica de esa cordillera, con marcado efecto foehn y disminución de las precipitaciones, pero también muy resguardada de los vientos de componente norte"³. Durante el período 1985-92 los del N sólo se advierten en julio y agosto (3,3% anual), aunque los del NW y NNE son más frecuentes en los equinoccios con el 6,7 y 4,5% anual.

- El verano está caracterizado por la elevada insolación y las altas temperaturas, consecuencia del ascenso en latitud del Anticiclón de las Azores. En ocasiones se producen los denominados golpes de calor, " asociados a vientos resecos y recalentamiento del SE, que llegan a La Mancha después de sufrir el efecto foehn de la Penibética y Sierras de Cazorla y Alcaraz, provocando una tremenda evapotranspiración"⁴.

³ELÍAS CASTILLO, F y RUIZ BELTRÁN, L: *Estudio Agroclimático ...* Opus cit.

⁴ELÍAS CASTILLO, F y RUIZ BELTRÁN, L: *Estudio Agroclimático ...* Opus cit. Pág

Fig. 6.- Precipitaciones anuales del período 1961-1990 respecto a la media.

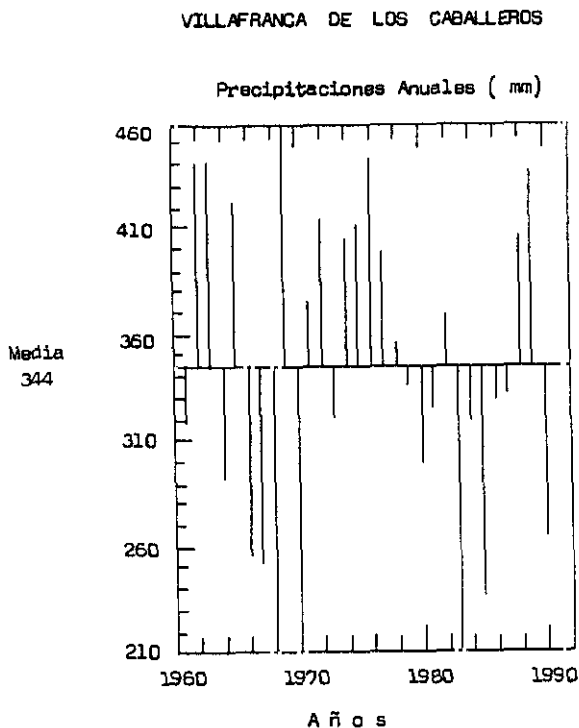
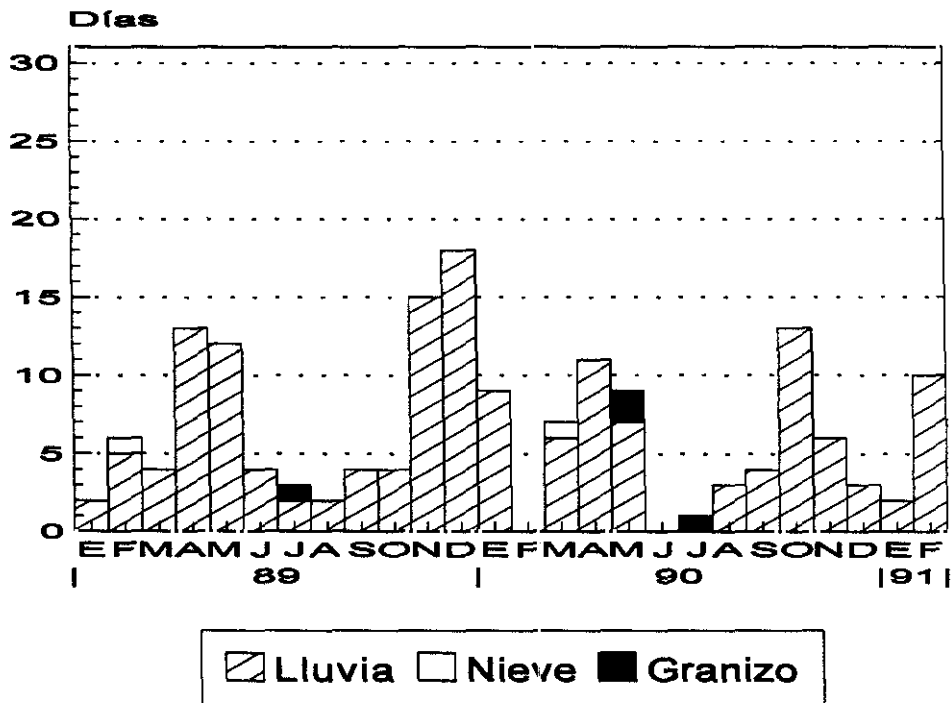


Fig. 7.- Forma de la precipitación. Villafranca de los Caballeros.



I.6. BALANCE HÍDRICO

Se ha realizado el balance hídrico en las cinco estaciones termopluviométricas con series de datos superiores a 25 años (Alcázar de San Juan, Campo de Criptana, Madridejos, Las Pedroñeras y Tomelloso), y se representan tanto los valores numéricos (ver cuadro 7), como sus gráficas correspondientes (ver fig. 8). De ambos, se deducen unos ciclos hídricos medios con características similares en toda la *Mancha Húmeda* y pequeñas diferencias locales como se apuntan a continuación:

A.- El período de falta de agua es el más largo de todos, prolongándose de junio a octubre. Los déficit de agua, siempre muy elevados, oscilan de 316 mm en Las Pedroñeras (E de La Mancha húmeda) a 448 mm en Madridejos (W de la misma). Este largo período viene marcado por un fuerte incremento de la ETP con valores entre 754 mm (Las Pedroñeras) y 810 mm (Tomelloso) y, por una concentración en los tres meses de verano del 52-55%. A esto se une la drástica reducción de las precipitaciones, reduciendo los volúmenes de evapotranspiración real (ETR) a la mitad aproximadamente (<400 mm). Como resultado, durante estos meses el agua también falta en algunas lagunas o tablazos, al menos en las denominadas estacionales. Así, en Peña Hueca, Tírez, Pedro Muñoz, Chica de Villacañas, lagunas de Lillo, etc es común encontrar estas lagunas "secas" durante el largo estío manchego.

B.- Tras un largo verano y bien entrado el otoño, los suelos empiezan a almacenar agua hasta finales de enero o febrero, según los casos. Por lo general, se alcanzan con frecuencia los 10 cm de almacenamiento, a partir del cual se supone completa la reserva del suelo y empieza a desaguar. Sin embargo, destaca nuevamente la estación más occidental (Madridejos) por no completar la reserva del suelo en ninguna época del año, (ya de por si muy reducida debido al predominio de la horizontalidad del terreno). En el resto de las estaciones se producen excedentes de agua desde mediados de octubre a finales del invierno o principio de la primavera.

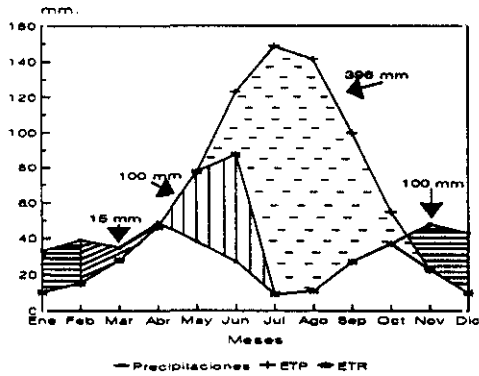
Este período coincide, como es lógico, con los mayores niveles de las lagunas temporales o estacionales (+30-+60 cm) y con el incremento de las permanentes.

C.- El período de exceso de agua es muy reducido temporalmente; sólo en los casos más favorables se produce entre febrero y abril. En otros, simplemente no hay excedente de agua -Madridejos, 0 mm. y Tomelloso 0,15 mm-. No obstante, en casi todas las estaciones el valor cuantitativo sería inestimable (de 15 mm en Alcázar de San Juan a 45 mm en Las Pedroñeras) de no ser por la lenta permeabilidad y ausencia de pendientes de buena parte de los suelos de la *Mancha Húmeda*, especialmente donde se ubican las higrocoras.

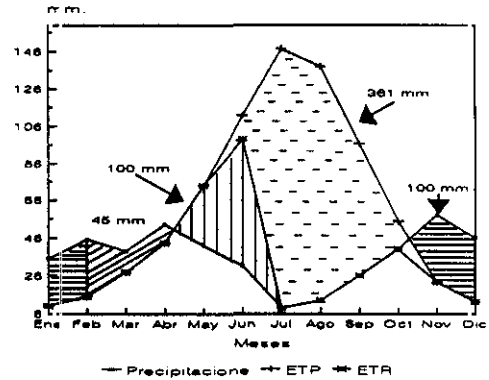
D.- Desde primeros o mediados de Abril, el fuerte incremento de la evapotranspiración y las escasas precipitaciones hacen perder en pocos meses las reservas hídricas del suelo, agotándolas a mediados de junio en todas las estaciones. Así, las someras láminas de agua de un buen número de lagunas (Peña Hueca, Tírez, Chica de Villacañas, Pedro Muñoz, etc.) se secan entre dos y cinco meses al año. En la lagunas "más permanentes" (Larga de Villacañas, Taray de Toledo, de Cuenca, de Villafranca, etc), ese incremento reduce notablemente sus volúmenes.

Fig. 8.- Balances hídricos de La Mancha (valores medios del período 1961-1990).

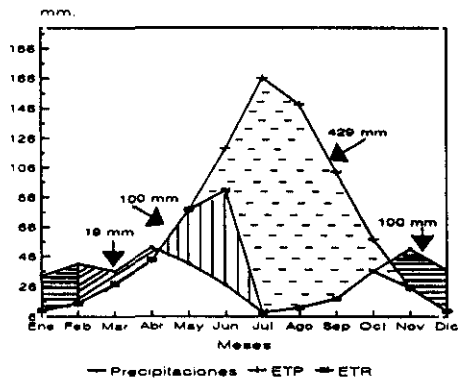
BALANCE HIDRICO
Alcazar de San Juan (C.R.)
1961-1990



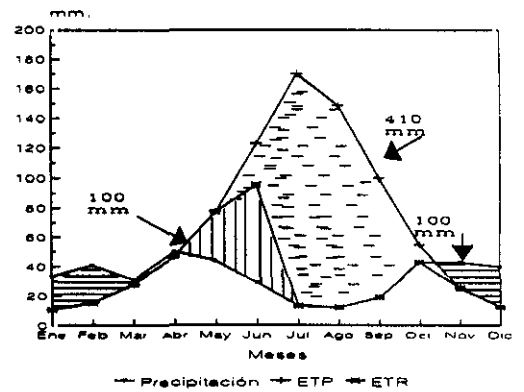
Las Pedroñeras (CU)
1961-1990



Campo de Criptana (C.R.)
1966-1990



Tomelloso (C.R.)
1971-1990



Madridejos (TO)
1967-1990

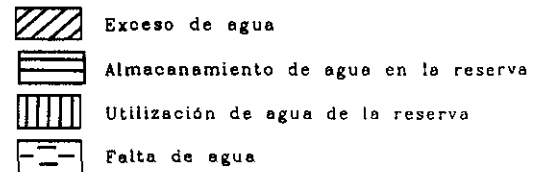
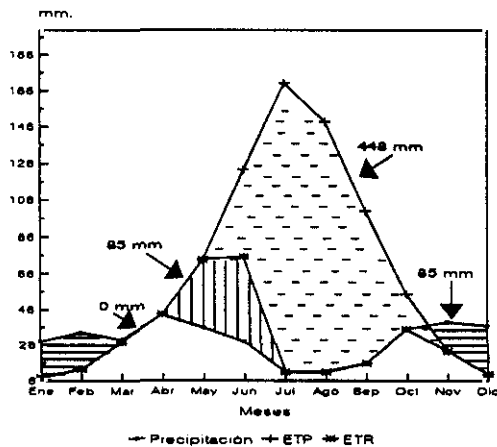
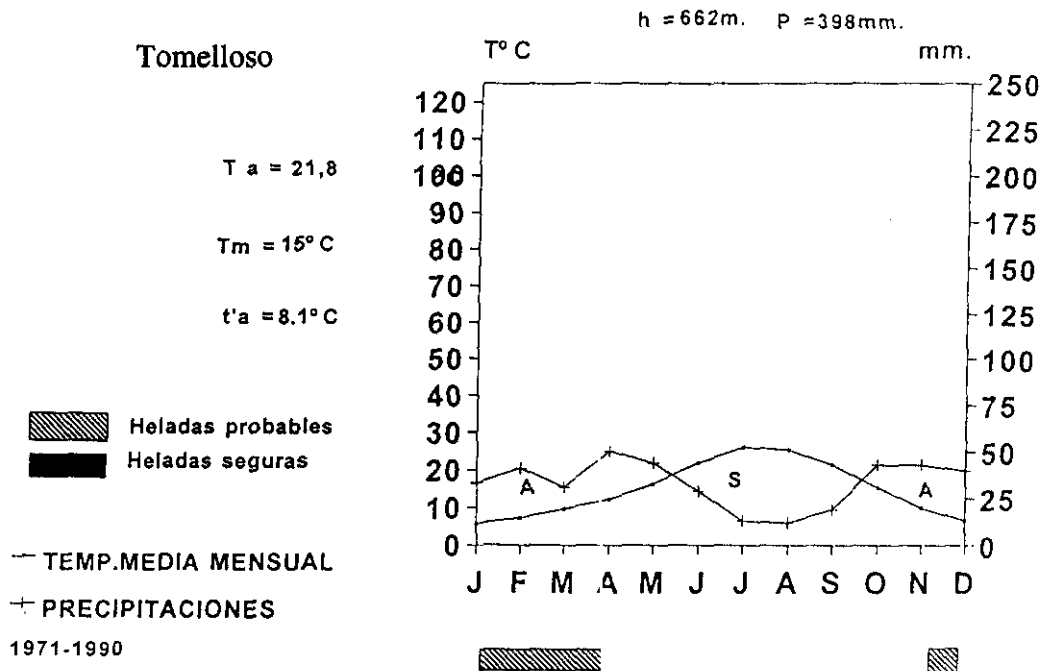
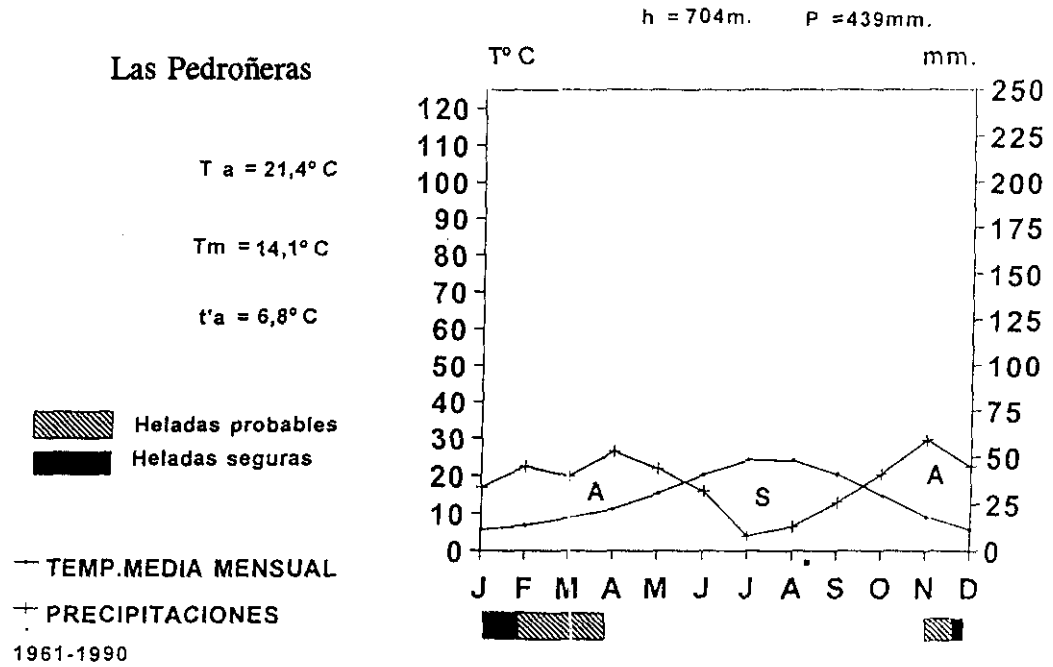


Fig. 9.- Climodiagramas de Walter-Lieth



Cuadro 8.1.- Balance Hídrico de Alcázar de San Juan (CR).

Latitud: 39° 23' Longitud: 0° 28' Altitud: 644 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T°C	5,8	7,0	9,2	11,9	16,4	21,4	25,3	24,8	21,3	15,3	9,3	5,8	14,4
Pmm	33	39	35	49	38	27	9	11	27	37	48	43	396
I	1,25	1,66	2,52	3,72	6,04	9,04	11,64	11,30	8,97	5,44	2,56	1,25	65,4
e	0,4	0,6	0,9	1,4	2,1	3,3	4,2	4,0	3,2	1,9	0,9	0,4	
ETP	10,20	15,12	27,81	46,62	77,49	122,76	148,68	141,6	99,84	54,72	22,68	9,84	777,4
Concentración ETP, verano						122,76	148,68	141,6					53,13 %
Reserva	81,28	100	100	100	60,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,32	58,48	
Variación de la reserva	22,8	18,72	0,0	0,0	-39,49	-60,51	0,0	0,0	0,0	0,0	25,32	33,16	
ETP Actual	10,2	15,12	27,81	46,62	77,49	87,51	9,0	11,0	27,0	37,0	22,68	9,84	381,3
Falta de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,25	139,6	130,6	72,84	17,72	0,0	0,0	396,1
Exceso de Agua	0,0	5,16	7,19	2,38	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,7
Desagüe	0,0	2,58	6,12	4,78	1,19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Indice de humedad (I_h) = exceso de agua * 100/ ETP; $I_h = 1,95$

Indice de Aridez (I_a) = falta de agua * 100/ ETP; $I_a = 50,95$

Indice de Humedad efectiva (I_{HE}) = $I_h - I_a * 0,6$; $I_{HE} = -28,68$

Tipo climático = D d B'₂ b'₃

Cuadro 8.2.- Balance Hídrico de Campo de Criptana (CR).

Latitud: 39° 24' Longitud: 0° 33' Altitud: 707 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T°C	6,2	7,4	10,0	12,2	16,4	21,8	26,0	25,6	22,0	16,2	10,2	6,6	15,0
Pmm	33,0	41,0	36,0	52,0	41,0	27,0	9,0	12,0	18,0	36,0	51,0	37,0	393,0
I	1,39	1,81	2,86	3,86	6,04	9,29	12,13	11,85	9,42	5,98	2,94	1,52	69,09
e	0,4	0,6	0,9	1,3	2,1	3,2	4,4	4,2	3,3	2,0	1,0	0,4	
ETP	10,2	15,12	27,81	43,29	77,49	119,04	166,32	148,68	102,96	57,6	25,2	9,84	803,6
Concentración ETP, verano						119,04	166,32	148,68					54,18 %
Reserva	75,76	100,0	100,0	100,0	63,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	52,96	
Variación de la reserva	22,8	24,24	0,0	0,0	-36,49	63,51	0,0	0,0	0,0	0,0	25,8	27,16	
ETP Actual	10,2	15,12	27,81	43,29	77,49	90,51	9,0	12,0	18,0	36,0	25,2	9,84	374,5
Falta de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,53	157,3	136,68	84,96	21,6	0,0	0,0	492,1
Exceso de Agua	0,0	1,64	8,19	8,71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,54
Desagüe	0,0	0,82	4,92	8,45	4,36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Indice de humedad (I_h) = exceso de agua * 100/ ETP; $I_h = 2,3$

Indice de Aridez (I_a) = falta de agua * 100/ ETP; $I_a = 53,4$

Indice de Humedad efectiva (I_{HE}) = $I_h - I_a * 0,6$; $I_{HE} = -29,7$

Tipo climático = D d B₂ b₃

Cuadro 8.3.- Balance Hídrico de Madridejos (TO).

Latitud: 39° 28' Longitud: 0° 09' Altitud: 689 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T°C	5,3	6,8	9,5	12,0	16,2	22,0	26,4	25,6	21,4	15,3	9,2	5,6	14,6
Pmm	28,0	33,0	29,0	43,0	36,0	28,0	11,0	11,0	16,0	35,0	39,0	37,0	346,0
I	1,06	1,59	2,64	3,76	5,93	9,42	12,42	11,85	8,97	5,44	2,52	1,19	66,79
e	0,3	0,5	0,9	1,3	2,0	3,3	4,5	4,2	3,2	1,9	0,9	0,4	
ETP	7,65	12,6	27,81	43,29	73,8	122,76	170,1	148,68	99,84	54,72	22,68	9,84	793,77
Concentración ETP, verano						122,76	170,1	148,68					55,62 %
Reserva	63,83	84,23	85,42	85,13	47,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,32	43,48	
Variación de la reserva	20,35	20,4	1,19	-0,29	-37,8	-47,33	0,0	0,0	0,0	0,0	16,32	27,16	
ETP Actual	7,65	12,6	27,81	43,29	73,8	75,33	11,0	11,0	16,0	35,0	22,68	9,84	346,0
Falta de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,43	159,1	137,68	83,84	19,72	0,0	0,0	447,8
Exceso de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desagüe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Índice de humedad (I_h) = exceso de agua * 100/ ETP; $I_h = 0,0$

Índice de Aridez (I_a) = falta de agua * 100/ ETP; $I_a = 56,4$

Índice de Humedad efectiva (I_{HE}) = $I_h - I_a * 0,6$; $I_{HE} = -33,8$

Tipo climático = D d B₂ b₃

Cuadro 8.4.- Balance Hídrico de Las Pedroñeras (CU).

Latitud: 39° 27' Longitud: 1° 0'E Altitud: 704 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T°C	5,6	6,9	8,9	11,3	15,5	20,3	24,3	24,1	20,5	14,9	9,2	5,7	14,1
Pmm	35,0	45,0	39,0	53,0	42,0	31,0	9,0	13,0	26,0	40,0	58,0	46,0	436,0
I	1,19	1,63	2,39	3,44	5,55	8,34	10,95	10,82	8,47	5,22	2,52	1,22	61,74
e	0,4	0,6	0,9	1,3	2,0	3,0	3,9	3,9	3,1	1,9	0,9	0,5	
ETP	10,2	15,12	27,81	43,29	73,8	111,6	147,42	138,06	96,72	54,72	22,68	12,3	753,72
Concentración ETP, verano						111,6	147,42	138,06					52,68 %
Reserva	93,82	100,0	100,0	100,0	68,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,32	69,02	
Variación de la reserva	24,8	6,18	0,0	0,0	-31,8	-68,2	0,0	0,0	0,0	0,0	35,32	33,7	
ETP Actual	10,2	15,12	27,81	43,29	73,8	99,2	9,0	13,0	26,0	40,0	22,68	12,3	392,4
Falta de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	138,42	125,06	70,72	14,72	0,0	0,0	361,3
Exceso de Agua	0,0	23,7	11,19	9,71	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,6
Desagüe	0,0	11,85	17,44	10,46	4,86	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Indice de humedad (I_h) = exceso de agua * 100/ ETP; $I_h = 5,9$

Indice de Aridez (I_a) = falta de agua * 100/ ETP; $I_a = 47,9$

Indice de Humedad efectiva (I_{HE}) = $I_h - I_a * 0,6$; $I_{HE} = -22,84$

Tipo climático = D d B₂ b₃

Cuadro 8.5.- Balance Hídrico de Tomelloso (CR).

Latitud: 39° 09' Longitud: 0° 39' Altitud: 662 m

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T°C	5,7	7,3	9,7	12,3	16,4	22,0	26,2	25,5	21,6	15,5	10,0	6,6	15,0
Pmm	33,0	41,0	31,0	50,0	44,0	29,0	13,0	12,0	19,0	43,0	43,0	40,0	398,0
I	1,22	1,77	2,73	3,91	6,04	9,42	12,28	11,78	9,17	5,55	2,86	1,52	68,25
e	0,4	0,6	0,9	1,4	2,1	3,3	4,5	4,2	3,2	1,9	1,0	0,5	
ETP	10,2	15,42	27,81	46,62	77,49	122,76	170,1	148,68	99,84	54,72	25,2	12,3	810,84
Concentración ETP, verano						122,76	170,1	148,68					54,45 %
Reserva	68,3	93,88	97,07	100,0	66,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	45,5	
Variación de la reserva	22,8	25,58	3,19	2,93	-33,49	-66,51	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	27,7	
ETP Actual	10,2	15,12	27,81	46,62	77,49	95,51	13,0	12,0	19,0	43,0	25,2	12,3	397,2
Falta de Agua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,25	157,1	136,68	80,84	11,72	0,0	0,0	410,5
Exceso de Agua	0,0	0,0	0,0	0,45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,45
Desagüe	0,0	0,0	0,0	0,22	0,22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Indice de humedad (I_h) = exceso de agua * 100/ ETP; $I_h = 0,06$

Indice de Aridez (I_a) = falta de agua * 100/ ETP; $I_a = 50,6$

Indice de Humedad efectiva (I_{HE}) = $I_h - I_a * 0,6$; $I_{HE} = -30,3$

Tipo climático = D d B₂ b₃

Estas características no hacen más que reiterar las ligeras diferencias espaciales de la Mancha en cuanto a su climatología. Se apunta un sector más árido definido por el arco Madrideoj-Tomelloso, y un ligero incremento de la "cantidad de agua y duración temporal" en las proximidades de la Serranía de Cuenca o los Montes de Toledo.

I.7. CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS Y CLIMATO-MORFOLÓGICAS

Conforme a los índices de humedad efectiva y de eficacia térmica de Thornthwaite (cuadros del 8.1 al 8.5), el tipo climático en el período 1961-90 de *La Mancha Húmeda* es DdB₂b₃; esto es, semiárido, mesotérmico, con pequeño o ningún exceso de agua, propio del interior, pues indican continentalidad y altitud.

Según la clasificación de Papadakis, La Mancha presenta para el período anterior un régimen térmico templado cálido, regímenes de humedad entre mediterráneo seco (Alcázar de San Juan, Campo de Criptana, Socuéllamos y Las Pedroñeras) y semiárido (Madrideoj y Tomelloso); un tipo de verano M (maíz) y un tipo de invierno Av (avena cálido). Así se definen dos tipos climáticos: TE₂-Me -mediterráneo templado- para el primer grupo de estaciones y, Te₂-me -mediterráneo semiárido continental- para el segundo, a consecuencia de los bajos índices de humedad anual (0,0 y 0,06 respectivamente). Una vez más el arco central de La Mancha, entre las dos estaciones citadas o sector medio del Cigüela es el más seco y de matiz más continental.

Los índices de continentalidad de Johanson, Schrepfer y Zenker (expresados en el cuadro 9), aunque clásicos son aceptables, y todas las estaciones quedan definidas por sus valores porcentuales como semicontinental o continental débil o moderado.

Según la repercusión de temperaturas y precipitaciones en los procesos geomorfológicos (Wilson, 1968) *La Mancha Húmeda* pertenece, al sistema climático semiárido, tal y como se advierte en el cuadro 10 y figura 10. En este sistema actúan los procesos geomorfológicos siguientes (ver fig. 11):

- Un débil desgaste químico por la acción atmosférica
- Un desgaste muy débil por la acción atmosférica regional
- Una acción por hielo insignificante o ausente
- Una erosión pluvial Máxima, y
- Una acción eólica Máxima.

En consecuencia, estas afinidades insinuadas entre los procesos geomorfológicos y las medias anuales de las precipitaciones y temperaturas, dan como resultado una actuación moderada de la erosión mecánica, eólica, del ataque químico y por tanto, de los movimientos en masa. No obstante, el proceso que se manifiesta con mayor fuerza y capacidad de ataque se debe a los movimientos por agua corriente. Como se ha visto anteriormente, aunque las precipitaciones anuales son más bien escasas, se producen casi siempre de forma tormentosa y en un espacio muy corto de tiempo, por lo que la masa de agua caída en pocas horas, tiene con frecuencia una alta capacidad de transporte y de erosión.

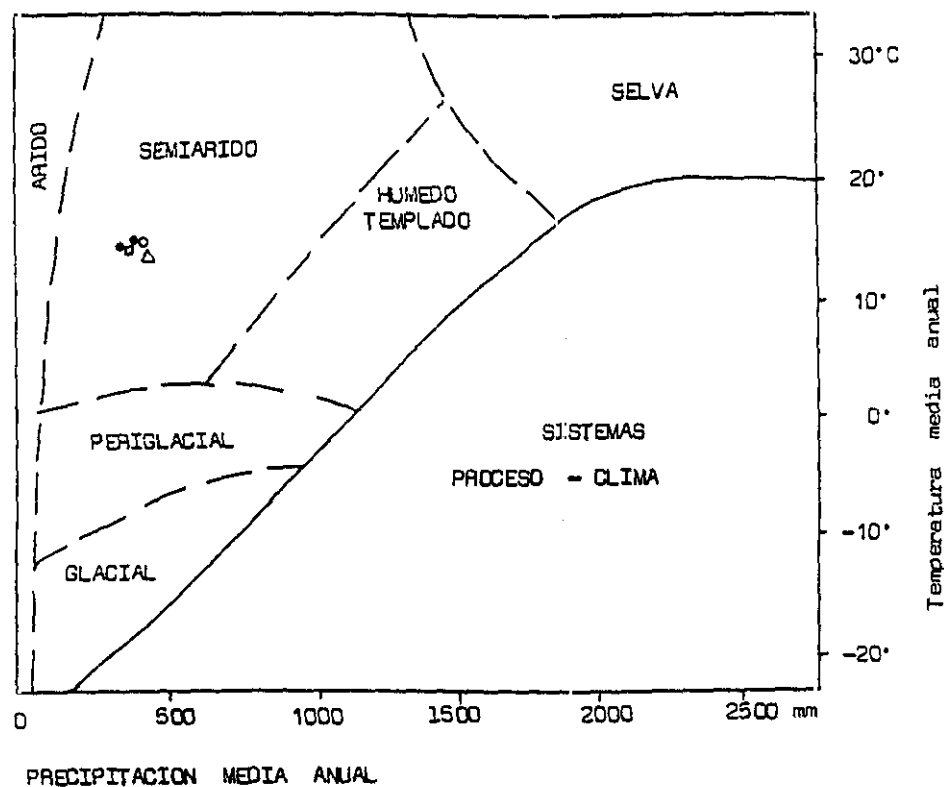
Cuadro 9: Índices de continentalidad

Estación	Johanson	Schrepfer	Zenker
Alcázar de San Juan	27,1	42,6	39,4
Campo de Criptana	27,3	42,8	39,7
Las Pedroñeras	25,4	40,2	36,9
Madridejos	30,4	47,1	44,2
Socuéllamos	29,1	45,4	42,3
Tomelloso	29,4	45,8	42,8

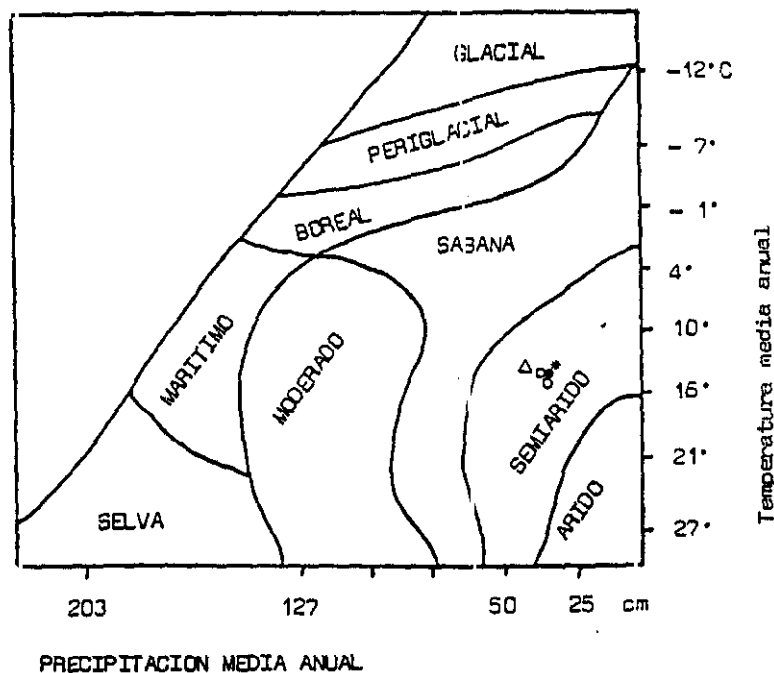
Cuadro 10: Sistemas climáticos de La Mancha según Wilson (1968).

Estaciones	P (mm)	T °C	Clasificación
Tomelloso (C.R.)	398	15,0	Semiárido
Alcázar de San Juan (C.R.)	396	14,4	Semiárido
Las Pedroñeras (CU)	439	14,1	Semiárido
Madridejos (TO)	349	14,4	Semiárido
Campo de Criptana (TO)	394	13,3	Semiárido

Fig 10.- Regiones morfogenéticas de Wilson y Pertier.



W I L S O N (1968)



P E L T I E R (1960)

GRAFICO Nº

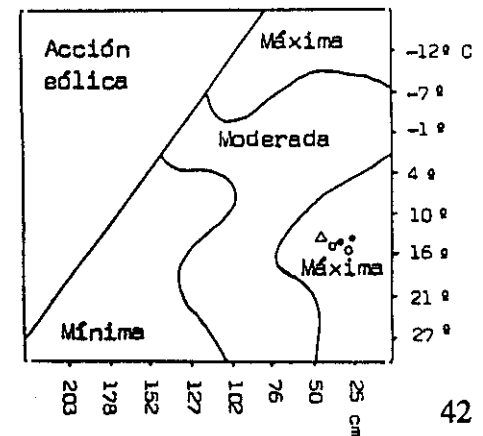
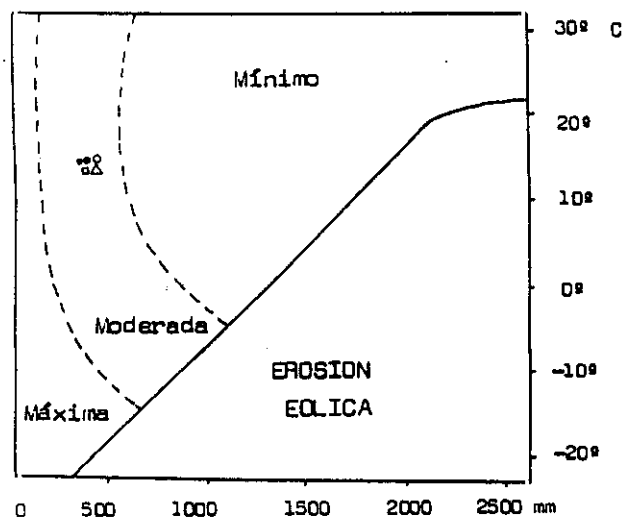
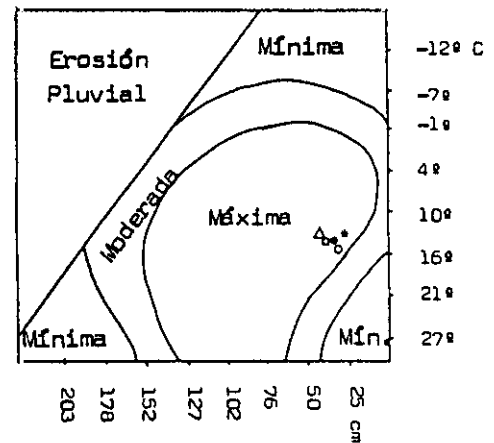
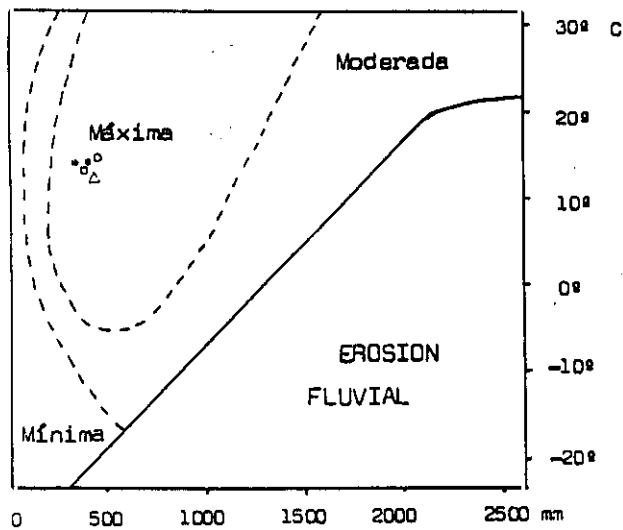
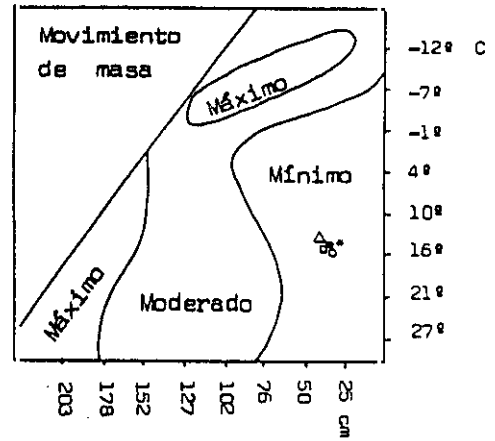
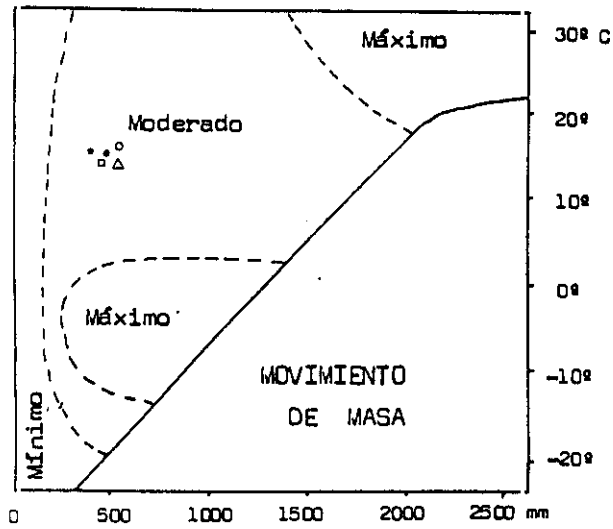
REGIONES MORFOGENETICAS DE WILSON Y PELTIER

• Alcazar de San Juan
• Campo de Criptana

• Madridajos
Δ Las Pedroñeras

• Tomelloso

Fig. 11.- Posibles relaciones entre algunos procesos geomorfológicos y el clima (precipitaciones y temperaturas medias anuales).



METEOROLOGÍA

El estudio meteorológico tratará de establecer posibles diferencias microclimáticas dentro de La Mancha y, conocer, en definitiva si los diversos humedales manchegos ejercen un papel diferenciador dentro del clima manchego. Para este estudio se han utilizado datos termométricos puntuales en las higrocoras seleccionadas (1993-1994) y, datos diarios de la estación completa de Villafranca de los Caballeros (Toledo), principalmente sobre los años 1989 y 1990. A su vez, estos se utilizarán para relacionarlos en este capítulo con niveles de agua de tres lagunas y, en otros, como se verá más adelante, con valores de calidad de las aguas y de procesos edáficos (redox, descomposición de la celulosa, etc).

1.8. PRECIPITACIONES: FRECUENCIA, TIPO Y FENÓMENOS ESPECIALES.

En primer lugar, la figura 6 determina, conforme a la precipitación media anual del período 1961-90 los años "húmedos" -con una pluviosidad por encima de la media, y los "secos" -por debajo de la misma. Así, 1989 resulta un año bastante húmedo y 1990 medianamente seco.

Las precipitaciones son fundamentalmente en forma de lluvia, con una distribución de 85 días en 1989 y 62 en 1990. Estas diferencias se deben fundamentalmente a numerosos temporales de lluvias del otoño de 1989, asociados a vientos del S y SSE en noviembre y del E y ESE en diciembre. Las nieves y granizos son muy ocasionales (de 1 a 3 días al año); sin embargo, mientras que las primeras se ciñen al invierno, asociados a vientos del NE (1.3.90), el granizo se produjo en verano y primavera (29.7.89; 12/13.5.90 y 28.7.90) con vientos de direcciones variadas.

La actividad tormentosa fue muy abundante durante 1989 (29 días), producida en su mayoría desde abril a septiembre, siendo importantes en mayo (12 días). Dicha actividad (de agua principalmente) aporta una buena cantidad de humedad a las lagunas manchegas, registrándose importantes diferencias entre los años con y sin tormentas, pues suministran agua y humedad en la estación más seca.

Al igual que ocurría en las precipitaciones del período 1961-90, la relación entre las precipitaciones mensuales y las máximas recogidas en 24 horas es lineal, directa y bastante elevada, teniendo en cuenta que es un día al mes y doce días por año. Considerando los dos años independientes, 1989 presenta un coeficiente de correlación de 0,68 (46,9%) y 1990 de 0,82 (68,22). De modo que a mayor aridez mayor importancia tienen las precipitaciones horarias.

Destaca el gran aporte de humedad que supone para los suelos manchegos la frecuencia e incluso persistencia de algunos fenómenos especiales. Según el número de días al año registrado, el más relevante es *el rocío* con un total de 74 días en 1989 y 104 en 1990, puede aparecer en cualquier época del año, aunque es más abundante en otoño e invierno. Se produce en condiciones de calma atmosférica en las capas bajas y humedad bastante alta (>75%); no obstante, también durante las noches de verano tras una

tormenta puede formarse rocío con 54% de humedad (31-VII-1990)

Las nieblas, que en La Mancha son en su mayoría de irradiación, sólo están ausentes durante el verano, aunque este período puede prolongarse de mayo a septiembre (1990). Suelen aparecer combinadas con la escarcha y el rocío, de modo que reducen notablemente la pérdida de calor del suelo y la evaporación del agua.

La escarcha, se produce siempre en invierno, pero puede extenderse temporalmente hasta principios de la primavera, si las temperaturas nocturnas se mantienen por debajo del punto de rocío y por encima del de congelación. En la estación de Villafranca de los Caballeros, se ha comprobado que la escarcha nunca se origina con temperaturas a -5 cm de la superficie del suelo inferiores a -2°C (el 16.XII.1989), ni superiores a 5°C (el 10.II.1989), tomadas a las 8 horas. Otro elemento determinante para la formación de la escarcha es la humedad que, por lo general, es superior al 90% durante el invierno y mínima en marzo con 79%, como se advierte en la figura 14.

La actividad tormentosa fue muy abundante durante 1989 (29 días), producida en su mayoría desde abril a septiembre, siendo importantes en mayo (12 días). Dicha actividad (de agua principalmente) aporta una buena cantidad de humedad a las lagunas manchegas, registrándose importantes diferencias entre los años con y sin tormentas, pues suministran agua y humedad en las estación más seca.

En general, el año 1989 fue bastante más húmedo que 1990, no sólo por las precipitaciones anuales, pues una o dos centenas de milímetros hacen variar en La Mancha Húmeda de un año seco a húmedo, sino por la frecuencia de fenómenos especiales. Debe destacarse todo el verano del 89 con un número superior de días de tormenta y rocío que en 1990. Tras los dos meses de lluvias más copiosos (noviembre y diciembre de 1989) el suelo se recarga de agua y permite un considerable número de días de rocío, escarcha y nieblas hasta marzo de 1990.

I.9. TEMPERATURAS: EFECTOS MICROCLIMÁTICOS Y TEMPERATURAS DEL SUELO.

Bajo un régimen climático mediterráneo de matiz continental, con grandes oscilaciones diarias de las temperaturas, las higrocoras ejercen un papel fundamental a la hora de explicar las ligeras diferencias termométricas de *La Mancha Húmeda*. Como es lógico, debe hacerse una salvedad, pues la influencia será distinta en función de la extensión, profundidad y estacionalidad de las lagunas o tablazos, de la presencia de abundante vegetación arbórea y arbustiva de borde, del tipo de suelo, etc.

Así, el cuadro 11 expone diferencias termométricas entre dos tipos de humedales y sus entornos. Uno, con abundante vegetación de borde (arbórea y arbustiva) y sin agua -El Masegar (1993-94), y otro, con agua durante todo el año y escasa vegetación de borde -la laguna Larga de Villacañas.

Cuadro 11: Temperaturas máximas y mínimas en dos higrocoras manchegas.

Localización	26/27-VI-1993		10/11-X-1993		22/23-II-1994		9/10-V-1994	
	T.max	T.mín	T.máx.	T.mín.	T.máx.	T.mín.	T.máx	T.mín.
Borde L. Villacañas Larga	31,2	18,4	13,0	11,0	19,0	8,0	23,0	17,6
Viñedos a 150 m V. Larga	33,2	18,4	17,0	8,6	20,5	4,0	25,8	13,0
Borde del Masegar	32,5	18,0	18,2	3,0	20,1	7,3	23,1	12,8
Viñedos a 150 m del Maseg.	34,5	18,0	19,5	8,2	17,0	10,0	24,2	13,5

De él se advierten las siguientes observaciones:

- Durante el verano las temperaturas máximas diurnas fuera de las lagunas superan en 2°C a las mismas en los bordes lagunares; además el agua (Laguna de Villacañas) ejerce mayor amortiguación térmica que la vegetación (El Masegar). Sin embargo, no existen apenas diferencias en las mínimas nocturnas.

- En otoño las temperaturas mínimas fuera de las higrocoras son similares, mientras que se ven bruscamente modificadas en sus bordes, pero con distinto carácter; suavizándose en la laguna permanente de Villacañas y con fuerte descenso térmico en el Masegar (3,0°C frente a 8,2 del entorno de la laguna).

- Como ya se comentó en el apartado I.3. las temperaturas máximas del invierno próximas a 20°C no son inusuales en La Mancha (ver cuadro 7). Sin embargo, destacan temperaturas mínimas suaves para esta estación (de 4 a 10°C), pues son ligeramente más elevadas que las Tmm analizadas en el período 1961-1990 (entre 1 y 2°C).

- En primavera las temperaturas diurnas son muy similares en las dos lagunas (ligeramente inferiores junto al borde de las mismas), pero la temperatura mínima de la laguna Larga es casi 5°C superior a la del Masegar.

- En general, el efecto moderador del agua en la laguna permanente de Villacañas, actúa reduciendo las temperaturas máximas (entre 1,5 y 4°C) y la amplitud térmica diurna (entre 2 y 6°C) respecto a las áreas más alejadas de la laguna. Sin embargo, dicho efecto sólo parece afectar a la superficie ocupada por la lámina de agua y a sus bordes inmediatos, pues son notables las diferencias de temperaturas a sólo 150 m de distancia de dichos bordes⁵.

⁵ Presumiblemente el efecto moderador del agua actuará de igual modo en las demás lagunas permanentes de La Mancha Húmeda (lagunas de Villafranca, laguna de Manjavacas, laguna del Taray, etc.), por lo que las diferencias termométricas comentadas en la laguna Larga de Villacañas pueden hacerse extensible al grupo de lagunas permanentes.

- Durante los muestreos anuales la laguna del Masegar destaca por tener temperaturas máximas superiores a la laguna Larga de Villacañas y mínimas inferiores a la misma (especialmente en otoño y en invierno); diferencias que se aprecian también respecto al resto de la comarca estudiada. Las variaciones microclimáticas del Masegar vienen explicadas principalmente por su emplazamiento, en la extensa llanura de inundación de la confluencia de los ríos Cigüela y Riánsares, situada topográficamente en un área ligeramente deprimida, y por la abundante vegetación arbustiva y arbórea. Así, frente a la aparente planitud o falta de desnivel en La Mancha algunos humedales, localizados en las áreas más deprimidas (como es el caso también de las Tablas de Daimiel) tienen el comportamiento microclimático propio de los fondos de valle, en los que los movimientos diarios del aire producen de noche temperaturas mínimas y máxima humedad, a consecuencia del embolsamiento del aire frío, y de día temperaturas máximas y mínima humedad, por el mayor caldeoamiento diurno en el área más baja.

Como se vio en el apartado I.4, durante el invierno la humedad relativa está próxima al 100%, de modo que en estos humedales, con temperaturas mínimas muy bajas, las nieblas y las heladas de irradiación se hacen más persistentes. Esto explica que durante algunos días del invierno pueda helarse el suelo, afectando al agua intersticial de los 10-15 cm superficiales, tal y como ocurrió en la laguna del Masegar en enero de 1989, sin que este hecho ocurriera en los suelos del entorno, ni de otros humedales próximos, pero localizados fuera de la llanura de inundación de los ríos.

En cuanto a *las temperaturas del suelo* se refieren a los valores diarios a las 8 horas desde el 1-12-89 al 31-1-91 de la estación meteorológica de Villafranca de Los Caballeros (Toledo) y están representados en las figuras 12a, 12b, 12c, 12d y 12e. De éstas se destacan las siguientes consideraciones:

- Las temperaturas mínimas aumentan progresivamente con la profundidad, desde -2°C (-5 cm) hasta 6,8°C (-100 cm). Esto es, la helada se produce desde el aire.

- Temperaturas por debajo de 0°C sólo se registran a -5 cm del suelo durante escasos días de invierno (12) y se mantienen a 0°C durante la mitad de ellos. Teniendo en cuenta que las temperaturas mínimas se producen durante la madrugada⁶ es muy probable que descienda 1 ó 2 grados, helando el agua intersticial de los suelos por encima de -10 cm, como se verifica posteriormente. Este fenómeno, aunque ocasionalmente puede producirse a -20 cm de la superficie del suelo, en ningún caso se mantiene a las 8 horas (mínima de 1,2°C). No obstante, será de interés conocer qué efectos tiene la helada sobre el suelo (procesos óxido- reductores, posibles desplazamientos de los microorganismos para alejarse de la helada, porosidad, etc) y la vegetación (especialmente a las raíces de las plantas); aspectos que se tratarán en los capítulos posteriores.

⁶. - GARCÍA DE PEDRAZA, L. y GARCÍA SANJUAN, J.: *Diez temas sobre el clima*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 1978, Pág 199.

- Frente a la tendencia ascendente de las temperaturas mínimas con la profundidad, las máximas se producen a -20 cm y, junto con los horizontes superficiales (-5 y -10 cm) presentan una variabilidad térmica, muy superior a -50 y -100 cm. Este último, muestra un sesgo positivo (0,73) y alta curtosis (-0,77), con un gran grupo térmico de 10/15°C.

Fig.12a.-Temperaturas del suelo a -5 cm de profundidad. Villafranca de los Caballeros (Toledo)

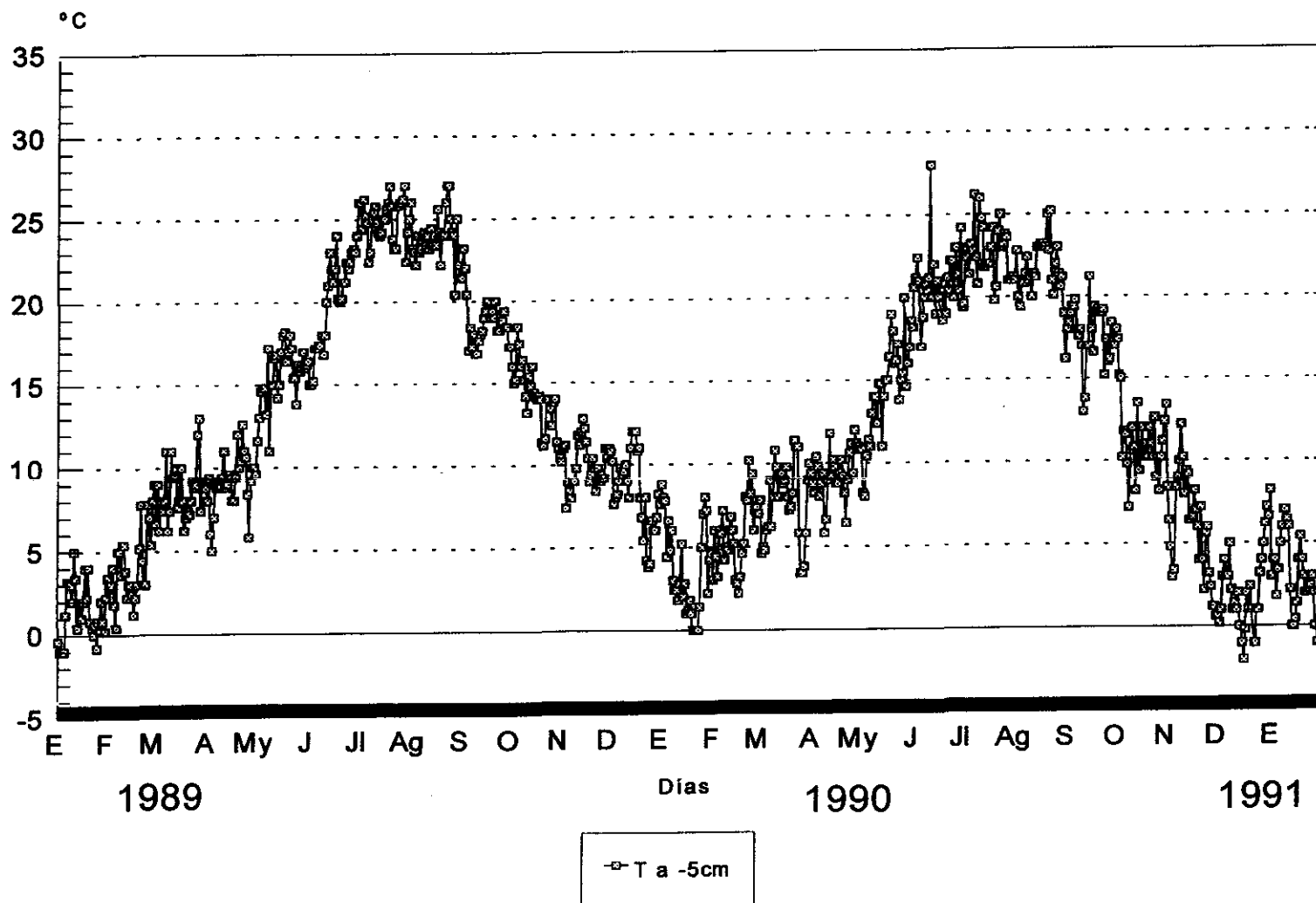


Fig.12b.-Temperaturas del suelo a -10 cm de profundidad. Villafranca de los Caballeros (Toledo).

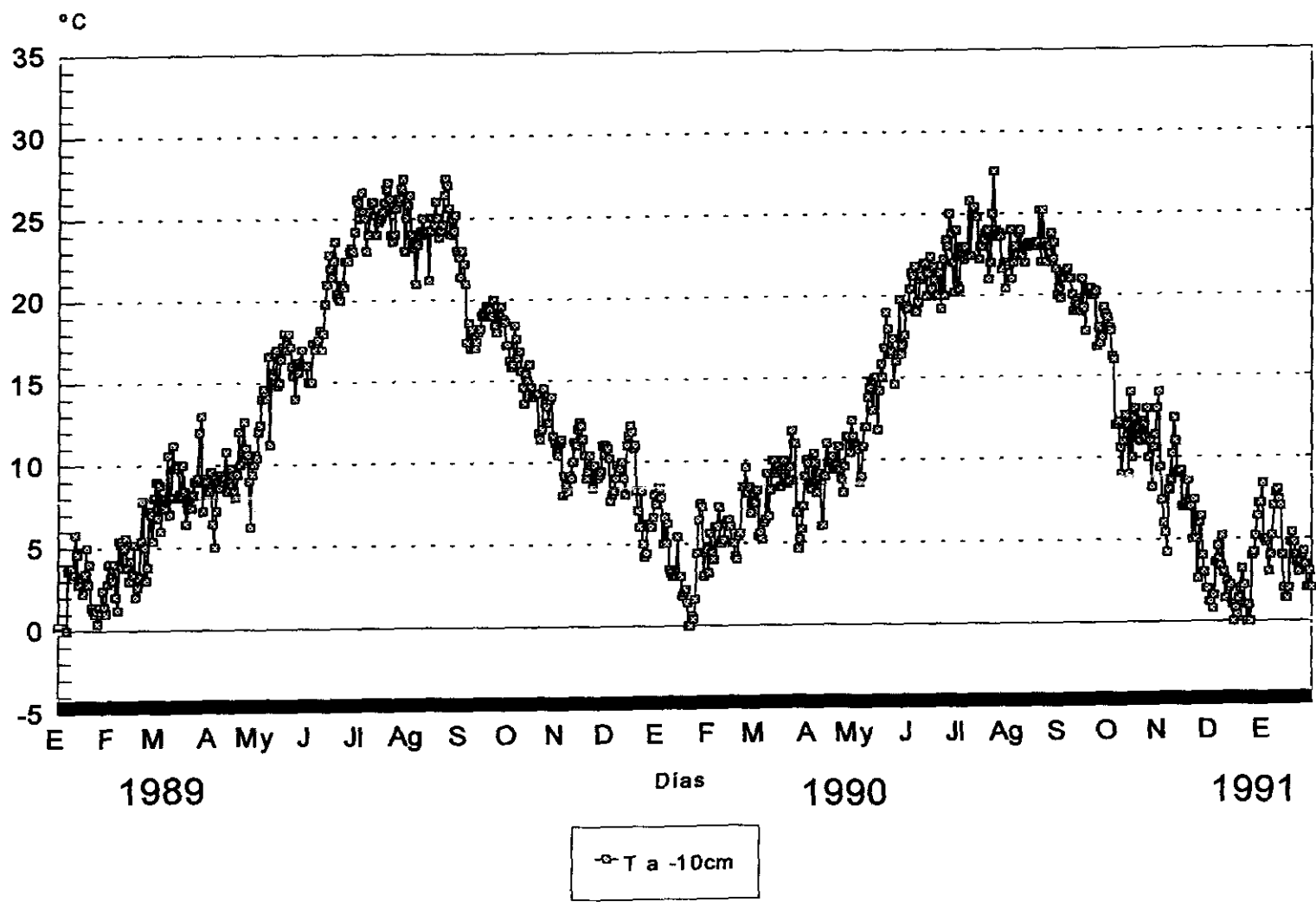


Fig.12c.-Temperaturas del suelo a -20 cm de profundidad. Villafranca de los Caballeros (Toledo).

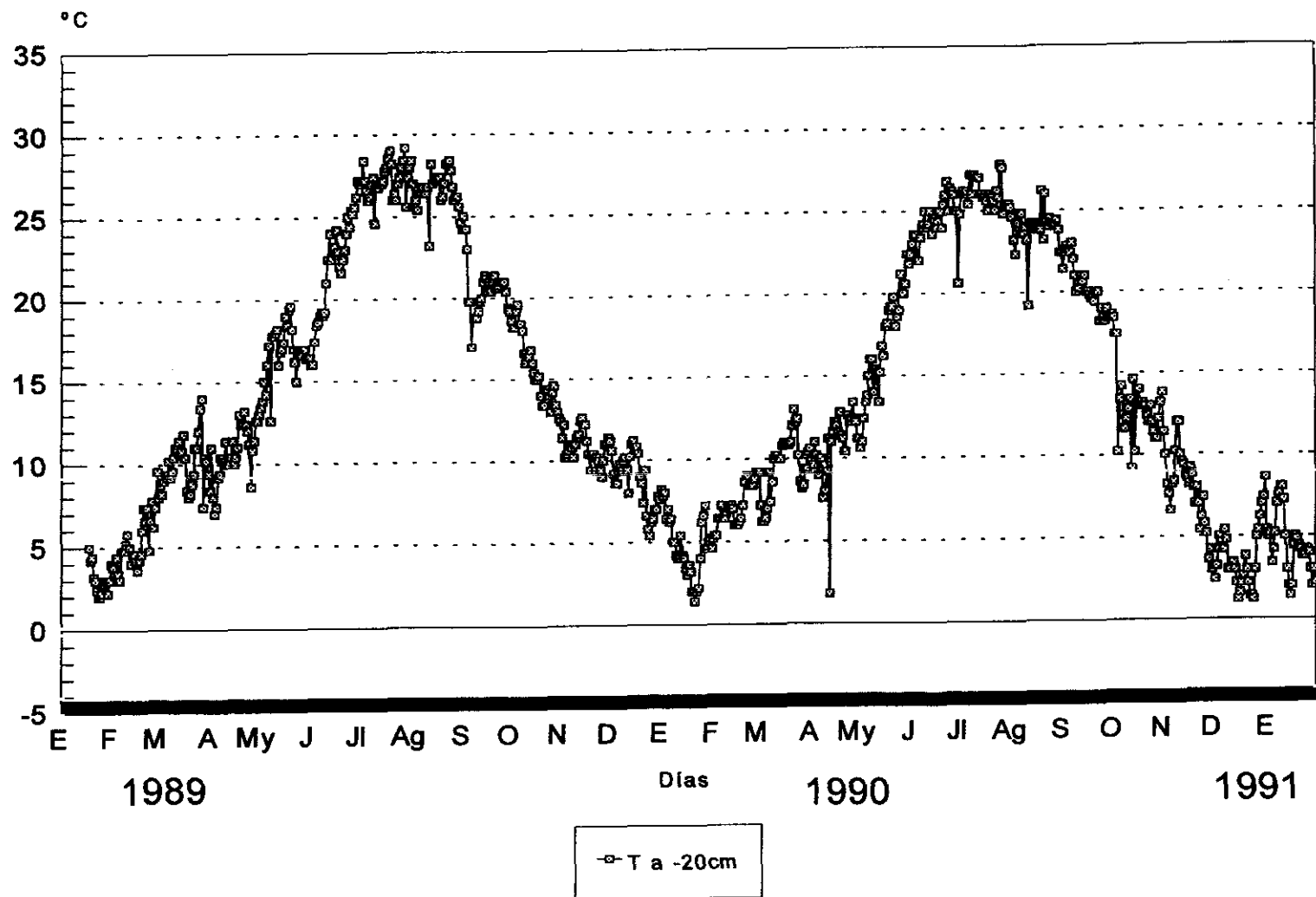


Fig.12d.-Temperaturas del suelo a -50 cm de profundidad. Villafranca de los Caballeros (Toledo).

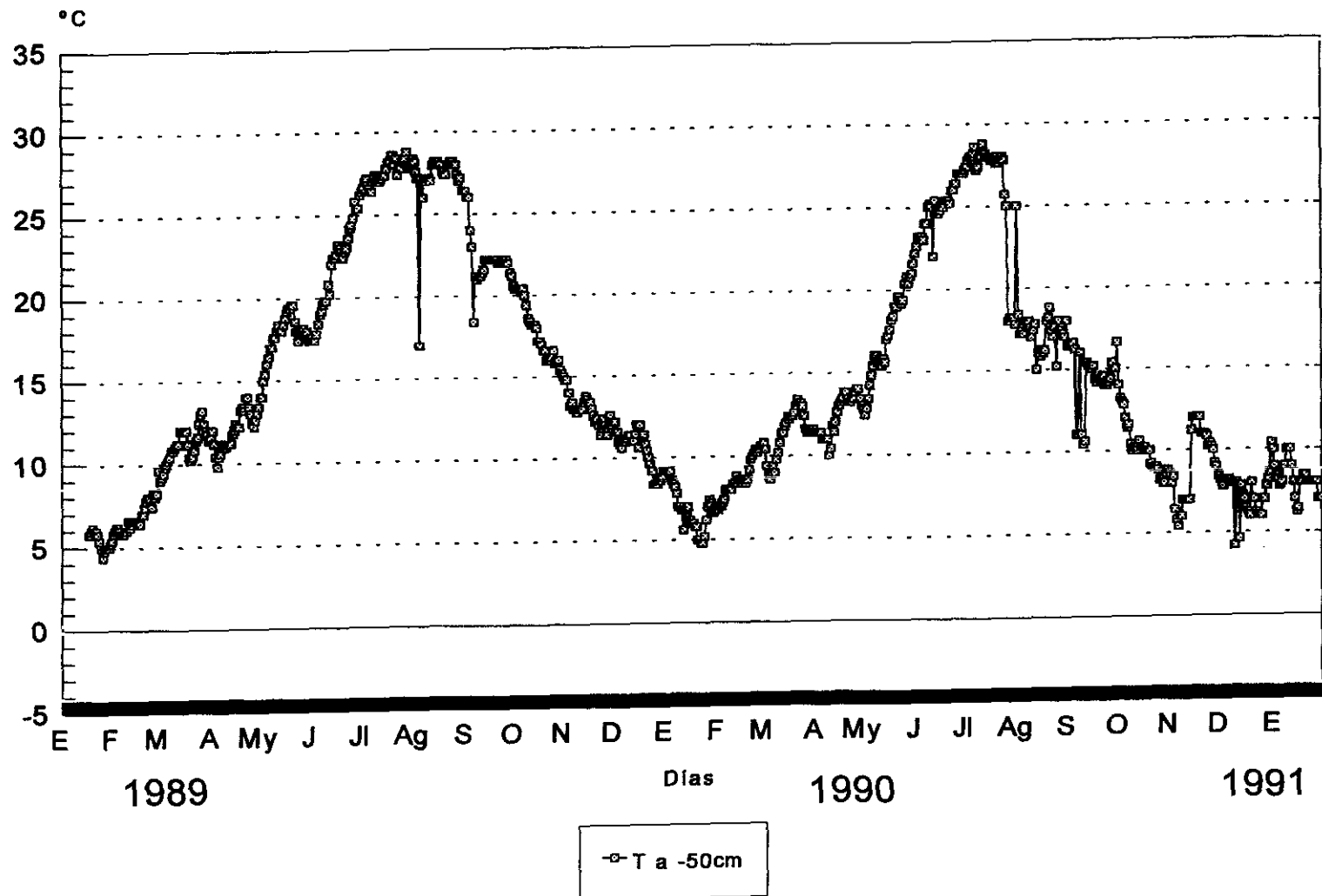
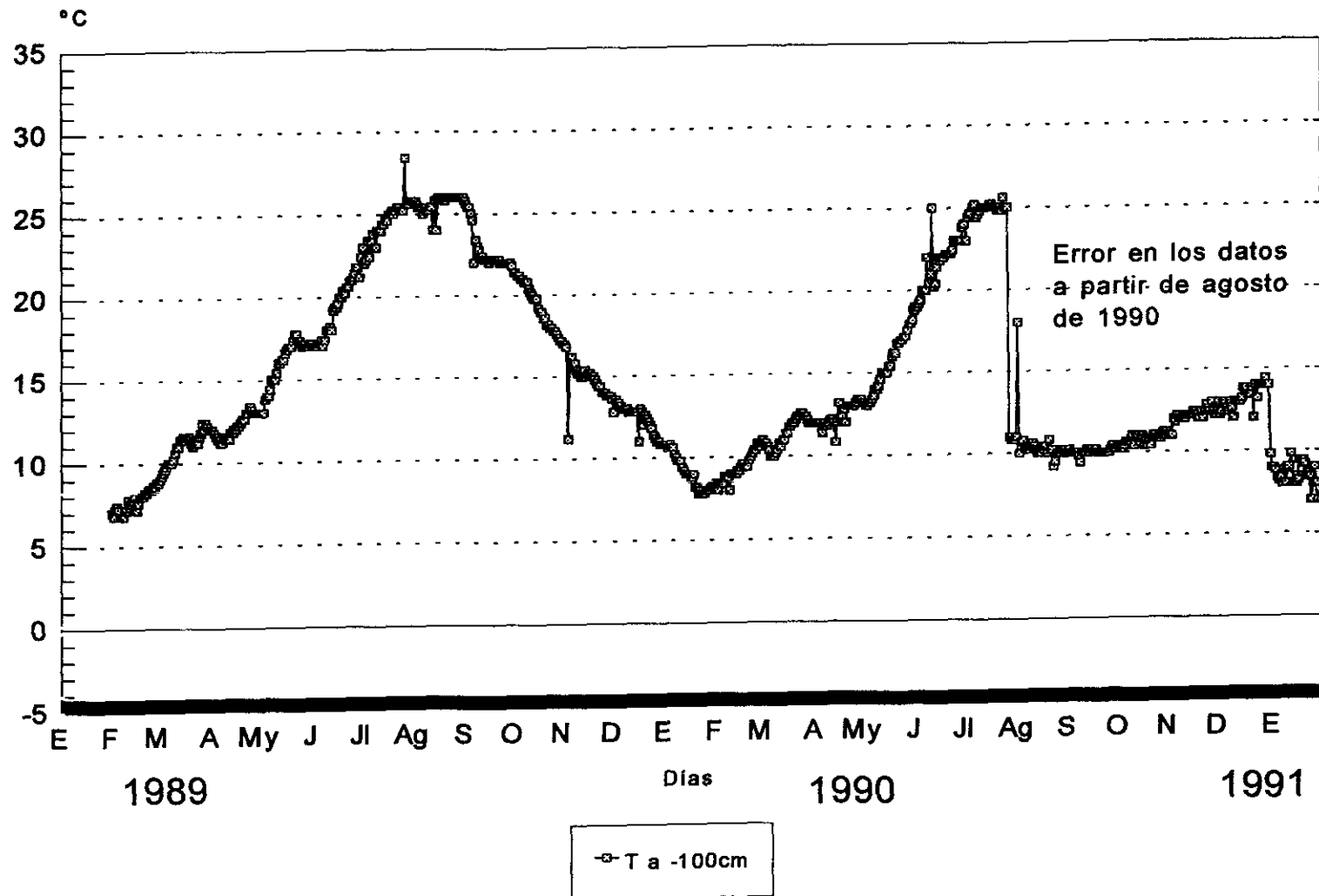


Fig.12e.-Temperaturas del suelo a -100 cm de profundidad. Villafranca de los Caballeros (Toledo).



- El enfriamiento del suelo, producido como es lógico durante el invierno, afecta principalmente a los 20 primeros centímetros del suelo, siendo mucho más débil a partir de -50 cm; así, a -100 cm las temperaturas nunca descienden de 5°C. Sin embargo, llama la atención el cambio de tendencia durante el verano, época en que las temperaturas más elevadas (25/30°C) se producen a -50 cm y -20 cm, (con una frecuencia de 110 y 100 días respectivamente, frente a 40 días en -10 y -100 cm; y 30 días en -5 cm). Esto hace pensar en posibles malos contactos de los sensores o contactos poco representativos (posible presencia de humedad o agua en algunos de ellos), pues el calentamiento del suelo durante el verano debería disminuir con la profundidad. La mala conexión de un sensor fue evidente en el colocado a -100 cm, ya que registró ¡durante 6 meses! (entre agosto de 1990 y enero de 1991) la misma temperatura (9,6°C).

En general, se pueden definir varios comportamientos térmicos en las lagunas manchegas. Un primer grupo, formado por humedales localizados en áreas deprimidas, próximas a los ríos, con abundante vegetación de borde (laguna del Taray de Toledo, laguna del Masegar y el P.N. de Las Tablas de Daimiel), que podrían definirse por un microclima de valle o depresión, con matices higronómicos en función de la cantidad de agua existente en las lagunas, de su distribución y de la estacionalidad de la misma. Este microclima se caracteriza por tener temperaturas nocturnas más bajas que su entorno y, por tanto, más expuestas durante el invierno a las heladas y nieblas de irradiación. Durante el día, las temperaturas máximas son inferiores al entorno sólo en los sectores de vegetación densa o cuando hay masas de agua considerables, ya que en las áreas de la misma laguna, deprimidas, sin agua y con vegetación sólo arbustiva se alcanzan temperaturas muy superiores⁷. Así, la presencia de masas de agua ejercerá siempre un papel moderador de las temperaturas.

Un segundo grupo de lagunas -de aguas permanentes o de corta estacionalidad, pero localizadas fuera de los lechos mayores de los ríos, en general sin vegetación densa, (Laguna Larga de Villacañas, laguna Grande de Villafranca y laguna de Manjavacas)-, presentan lo que se podría denominar "microclima higronómico". Están caracterizadas por tener temperaturas más suaves que su entorno, con una disminución de las temperaturas máximas (entre 1,5 y 4°C), y de la amplitud térmica diurna (entre 2 y 6°C), pero se diferencia del anterior, por que el período de heladas y nieblas de irradiación es mucho más reducido.

Un tercer grupo de lagunas, -de larga estacionalidad hídrica, sin vegetación de borde o si la hay, de escaso porte o reducida densidad, con suelos frecuentemente secos, muy expuestas a la acción del viento, (lagunas de Peña Hueca, Grande de Quero, Miguel Esteban, Tírez, La Albardiosa, etc.)-, presenta el clima regional propio de La Mancha, sin que la

⁷. - En la laguna del Masegar cualquier visitante puede advertir, especialmente en verano, las diferencias térmicas diurnas existentes entre la mitad sur de la laguna (con vegetación arbórea y arbustiva densa, y cuando hay, amplias superficies de agua), más fresca, y la norte, junto a las torcas, (sin apenas agua y con vegetación sólo arbustiva), mucho más calurosa.

existencia de someras y temporales manchas de agua interfieran apenas en el clima local.

I.10. DINÁMICA ATMOSFÉRICA

Los dos años en estudio tienen claras diferencias climáticas y, situaciones sinópticas que deben matizarse.

El invierno 88/89 se caracteriza por el predominio de las altas presiones con tiempo muy seco y de fuertes heladas ocasionadas por la estabilidad del anticiclón europeo. Las escasas precipitaciones van asociadas a vientos del E y WSW.

Durante la primavera 89 se sucedieron numerosos sistemas frontales que ocasionaron precipitaciones desiguales durante los tres meses. Los más frecuentes y copiosos van asociados a vientos del NNE y N en marzo, del SE y E en abril y E en mayo, estos últimos dentro de la fecha media habitual (del 15 de marzo al 15 de mayo)⁸.

Desde septiembre a diciembre de 1989 "la circulación atmosférica se mantuvo muy activa por debajo del paralelo 40°N, sucediéndose aire cálido y muy húmedo de origen subtropical con flujos del SW y aire cálido y saturado del Mediterráneo con flujos del E"⁹.

El invierno 89/90, retrasado térmicamente por el ascenso del chorro subtropical hasta finales de diciembre, destaca por el retraso del anticiclón europeo (del 4 al 17-1-90; del 4 al 12-2-90 y 20 y 26-2-90) y la alternancia con el Anticiclón Atlántico (del 18 al 23-1-90), dando lugar, en general, a cortos períodos de heladas y frecuentes nieblas.

El verano de 1990 resultó seco (junio sin precipitaciones) y caluroso, aunque con algún fenómeno tormentoso en fechas aisladas y asociados a vientos del NE y ENE (28-7-90 con 17,3 mm y 2-8-90 con 16,8 mm respectivamente).

El otoño de 1990, con una sucesión bastante normal de frentes nubosos procedentes del Atlántico, dejan a su paso lluvias continuadas (en temporales de dos o cuatro días); durante octubre asociadas a vientos del W y SW y con una fuerte circulación del NW en noviembre.

En diciembre de 1990, la ausencia de precipitaciones (dos días) y ambiente muy frío favorecen la inversión térmica y abundantes nieblas y heladas de irradiación en toda La Mancha. Por el contrario, enero de 1991 se caracteriza por los marcados contrastes térmicos¹⁰, donde la primera quincena se ve afectada por la influencia del aire subtropical

⁸. -ELÍAS CASTILLO, F. Y RUIZ BELTRÁN, L.: *Estudio agroclimático...* Opus cit. Pág 36.

⁹. Instituto Nacional de Meteorología: *Calendario meteorológico 1991*. Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones. 1991. Pág 60.

¹⁰. -INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA: *Calendario meteorológico 1992*. INM. Madrid. Pág. 62.

y una circulación acusada de vientos del W, que dan lugar a cielos despejados, temperaturas muy suaves y sin heladas. Por el contrario, a partir del día 12-1-91 toda la Península queda bajo el control del anticiclón continental europeo, produciendo duras heladas.

Cuadro 11: estadística de la temperatura del suelo de la estación de Villafranca de los Caballeros (TO).

	- 5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-100 cm
Tamaño muestra	761	761	744	744	730
Media	12,2	12,7	14,2	14,9	14,7
Mediana	10,8	11,0	12,2	13,0	12,6
Moda	8	23	11	8	10
Varianza	57,5	57,2	62,4	48,3	31,2
Desviación estándar	7,6	7,6	7,9	7,0	5,6
Error estándar	0,27	0,27	0,29	0,25	0,21
Mínima	-2	0	1,2	4,2	6,8
Máxima	28	27,6	29,2	28,8	28,4
Rango	30	27,6	28	24,6	21,6
Cuartil inferior	6,6	6,6	8	9,2	10,4
Cuartil superior	19	19,8	21,3	19,6	19,0
Rango intercuartil	12,9	13,2	13,3	10,4	8,6
Sesgo	0,17	0,22	0,25	0,57	0,73
Sesgo estándar	1,98	2,50	2,84	6,40	8,03
Curtosis	-1,12	-1,18	-1,22	-0,86	-0,77
Curtosis estándar	-6,30	-6,68	-6,81	-4,79	-4,27

I.11. OTRAS VARIABLES DEL CLIMA

La evaporación diaria reflejada en la figura 13, presenta durante el invierno valores inferiores a 2 mm/día, con algunas excepciones que pueden ascender hasta los 7-9 mm/día. Debe destacarse un número no despreciable de días en los que el evaporígrafo se encuentra helado (11 en enero de 1989, 7 en diciembre de 1990 y entre 2 y 5 en febrero de ambos años), mostrándose una correspondencia directa con el mismo fenómeno en determinados suelos (con temperaturas del suelo negativas) y vasos lagunares.

Así, los gleysoles y solonchaks gléicos de algunos entornos lagunares, suelen mantenerse embebidos en agua. El fuerte descenso térmico nocturno hiela los primeros 10-

15 cm de los horizontes del suelo -heladas de irradiación-, manteniéndose el agua intersticial del suelo helada durante varias horas al día (ejemplo, en gleysoles de El Masegar del 3 al 12.I.89, hasta las 11 ó 12 horas). Esto se repite en aquellas higrocoras donde la humedad es abundante y existe una buena cobertura de vegetación de borde (lagunas de El Masegar, del Taray de Todedo, de Villafranca de los Caballeros, del Taray de Cuenca, etc). El agua de los vasos lagunares sólo llega a helarse parcialmente en aquéllas con aguas dulces o ligeramente salobres, impidiéndolo la salmuera en las restantes.

Por el contrario, en lagunas muy próximas a las mencionadas (lagunas de Peña Hueca, Chica de Villacañas, de las Yeguas, del Pueblo, etc), pero sin vegetación de borde y más expuestas a la acción del viento, bajo las mismas condiciones mesoclimáticas, presentan notables diferencias microclimáticas, sin que el agua del suelo ni láminas de agua de las lagunas lleguen a helarse.

La estación del año con mayor variabilidad de evaporación potencial diaria es la primavera, con valores máximos de 11-12 mm/día y mínimos de 1 mm/día. No obstante, es en julio y agosto cuando se producen los valores máximos y mínimos más extremos (16,8 mm el 10.8.89-2,6 mm el 4.8.89; 16 mm el 17.7.90-2,0 mm el 28.7.90).

La figura 4 de *evaporación mensual* pone de manifiesto una clara diferencia entre 1989 y 1990, en favor del primero y especialmente acentuada en otoño. Su explicación se debe al ascenso del chorro subtropical en latitud, (poco frecuente en esta época), que no sólo se tradujo en copiosas lluvias otoñales, sino también en temperaturas más altas de lo habitual, con una inmediata repercusión en la evaporación. Así, se registraron valores muy elevados (10-12 mm/día) en las situaciones anticiclónicas y muy bajos en las ciclónicas (0-2 mm/día).

Con la finalidad de conocer hasta qué punto los índices de evapotranspiración (ETP) se corresponden con los ofrecidos por el evaporígrafo (situado en un área con vegetación y donde tampoco se limita el suministro de agua), se han calculado los valores mensuales de ETP según Thornthwaite, Penman y Llorente¹¹ y se representan en la figura 15. De él se obtienen las siguientes conclusiones:

1- Todos los valores presentan una tendencia más regular en el año húmedo -1989- que en el seco -1990. En el primero, existe una alta relación entre los distintos índices y, todos los meses el evaporígrafo muestra los valores más elevados y Thornthwaite los más bajos. En el segundo, de agosto a septiembre el evaporígrafo presenta valores muy reducidos, mientras que los índices de Llorente y Thornthwaite siguen una tendencia similar, siendo superior el primero.

2- En los dos años analizados la ETP de invierno es muy similar y mínima según

¹¹. -Calvo et alia (edit.), (1992): *El Medio Rural español: cultura, paisaje y naturaleza* (LLORENTE PINTO, J.M.: *La Evaporación potencial: una revisión y una propuesta*). Universidad de Salamanca. 1992. Pág.146.

los diferentes métodos (<40 mm/mes). Los valores más altos se producen siempre en el mes de julio con 345-330 mm según el evaporígrafo y 160-170 mm según Thornthwaite.

3- Considerando los 24 meses de 1989 y 1990 las diferentes ETP calculadas muestran una altísima correlación con los obtenidos en el evaporígrafo. Con la ETP de Penman es casi perfecta (0,998), ya que la evaporación mantiene con la insolación y la humedad relativa también correlaciones muy elevadas. Esta es, a su vez, muy alta con la ETP de Llorente

Fig.14.-Humedad relativa en Villafranca de los Caballeros (Toledo) desde el 1.1.89 al 31.1.91.

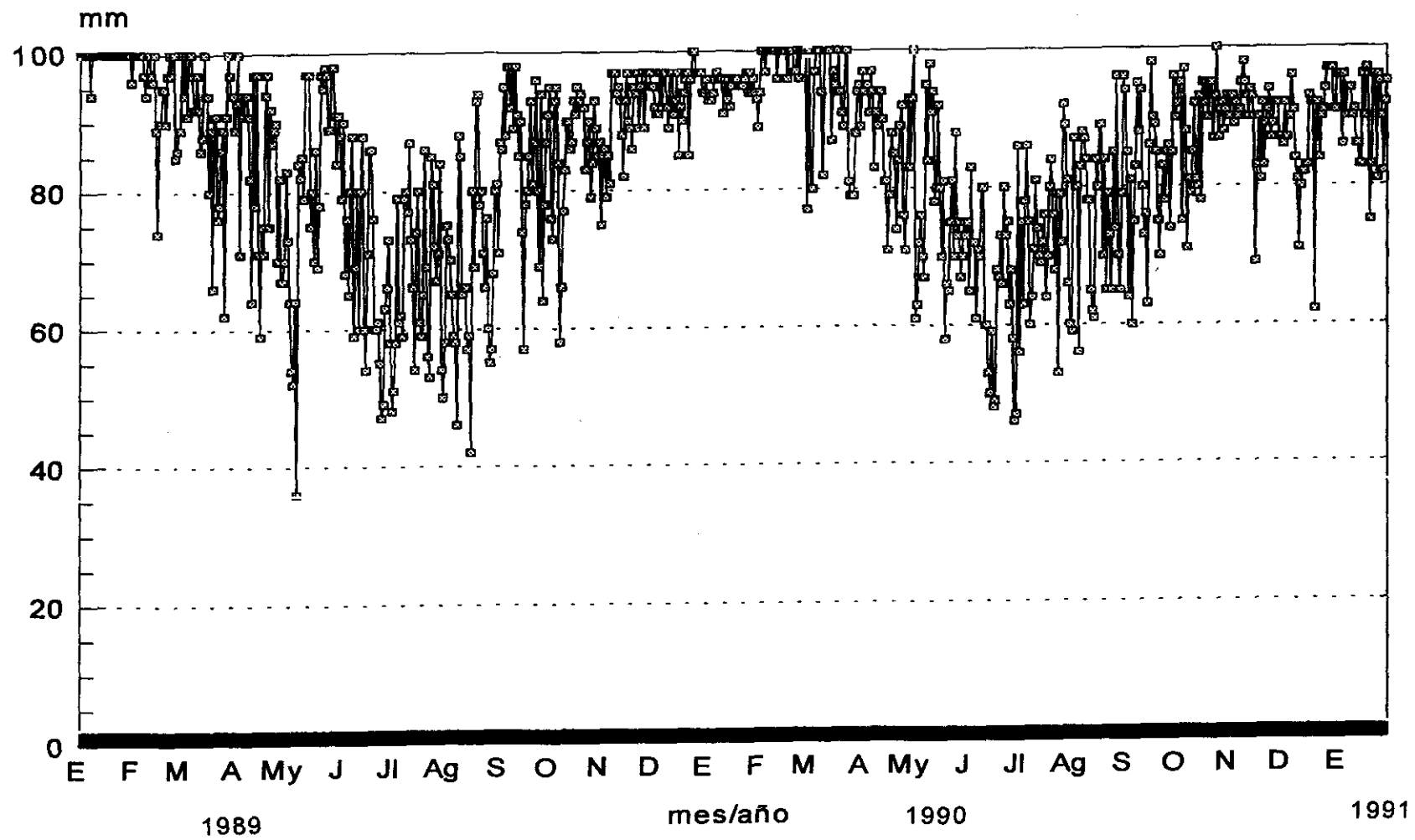
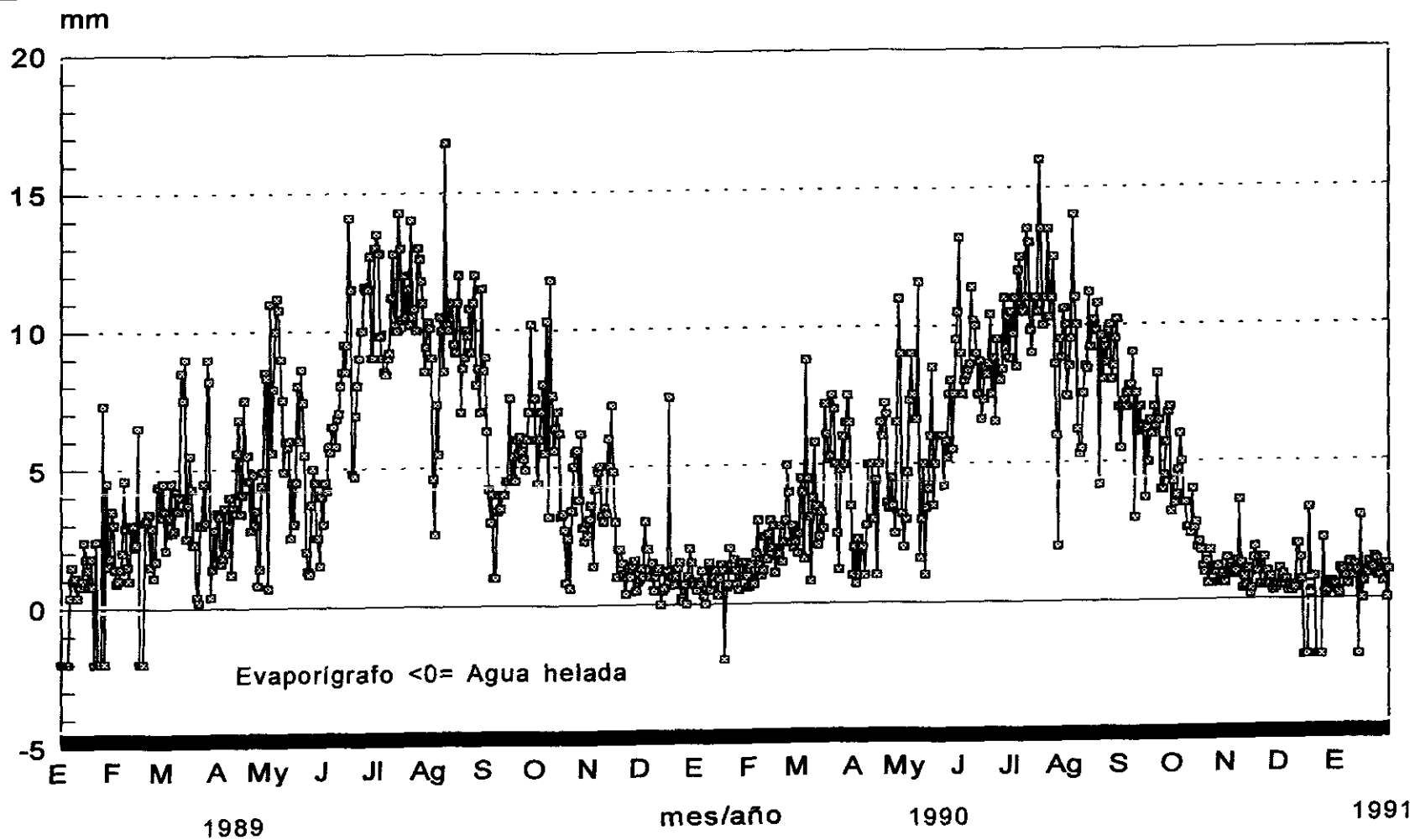


Fig.13.-Evaporación diaria en Villafranca de los Caballeros (Toledo) desde el 1.1.89 al 31.1.91.



(0,907; 82,2%), desviándose tan sólo en valores estivales, por encima de 200 mm. Por último, se considera muy aceptable la correlación con la ETP de Thornthwaite (0,868; 75,4%), tan criticada¹², que se despega en los valores superiores a 120-150 mm (en los meses centrales de primavera y verano). Si la ETP se considera para necesidades agronómicas es probable que el índice de Thornthwaite no sea recomendable por alejarse de los valores reales en los meses de crecimiento; no obstante parece aceptable su aplicación para comprobar la relación entre dicho índice y las alturas de agua de las distintas higrocoras manchegas (mínimas siempre en verano).

La humedad relativa es muy elevada en invierno, especialmente en enero, pues puede mantenerse al 100 % casi todo el mes (1989), como se advierte en la figura 14. Además, como se apuntó en el apartado I.8 va siempre vinculada a la presencia de nieblas, escarcha y rocío.

Al igual que en la serie 1961-1990 las correlaciones de la humedad relativa con la evaporación y con la insolación durante 1989 y 1990 fueron indirectas y muy elevadas (-0,96 en 1989 y -0,88 en 1990 con la primera y $> -0,78$ y -0,80 en los mismos años con la segunda).

La insolación, aunque con valores muy elevados durante los dos años estudiados (2.459 horas en 1989 y 2.781 en 1990), presenta ligeras diferencias que merecen ser comentadas:

- Débil insolación en abril de 1989 debido a los numerosos frentes del E y SW.
- Fuerte caldeamiento de junio de 1990, prácticamente el 100% de horas de sol, que dan como resultado una reducción notable de la humedad relativa, ausencia de fenómenos especiales y considerable aumento de la evaporación (330 mm, frente a 245 mm del mismo mes en 1989).
- La sensible disminución de horas de sol en noviembre y diciembre de 1989 a consecuencia de las numerosas lluvias originadas por el ascenso del chorro subtropical, anormal en estas fechas.

I.12. BALANCE HÍDRICO Y SU RELACIÓN CON LOS NIVELES HÍDRICOS DE LAS LAGUNAS.

En primer lugar, se recogieron los niveles de la lámina de agua en tres lagunas manchegas (Larga y Chica de Villacañas y Peña Hueca), situadas en el extremo SE de la provincia de Toledo, durante veintiún meses (de mayo/1989 a enero/91). A continuación, se trató de correlacionar los ciclos de agua obtenidos en campo con diferentes variables climáticas directas e indirectas, con la finalidad de conocer cuales son los que más inciden en dichos ciclos.

¹². -Calvo, et alia (edit.), (1992): *El medio rural español* (LLORENTE: La evapotranspiración ...Opus cit. Pág.147.

Las variables a correlacionar con los niveles de agua son: precipitación mensual, precipitación máxima en 24 horas y evaporación mensual (evaporígrafo, Penman, Llorente y Thornthwaite); todos los valores indirectos se han calculado para la estación meteorológica de Villafranca de los Caballeros y Alcázar de San Juan. De todos ellos, cabe destacar:

a. Los coeficientes de correlación son muy similares, cuando no iguales, para las dos estaciones meteorológicas seleccionadas, ambas relativamente próximas a las lagunas seleccionadas.

b. Las precipitaciones mensuales no muestran ninguna correlación con los ciclos del agua (-0,08; -0,10 y 0,13) y, las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas parecen tener escasa significación (-0,34 ó 11,3% en Villacañas Larga y -0,28 ó 7,6% en Villacañas Chica).

c. La variable climática que más influye en los ciclos de agua es la evaporación, en todos los casos de signo negativo.

d. De las cuatro ETP arriba comentadas, la de Thornthwaite presenta la correlación más estrecha (de -0,58 a -0,53), sólo superada por la ETP de Llorente en Peña Hueca (-0,59), aunque para las otras lagunas este índice es inferior. Los valores del evaporígrafo son los que menos se ajustan al ciclo del agua de las higrocoras, pues la evaporación de agua dentro de la caseta meteorológica parece estar sobredimensionada.

e. La correlación entre los niveles de las lagunas y la ETP de Thornthwaite es muy estrecha durante el verano y el invierno, cuando los primeros, bien por la escasa evapotranspiración, bien por la ausencia o escasez de agua, se encuentran más estables. Sin embargo, se aleja especialmente en primavera, pues las lagunas suelen todavía mantener altos niveles de agua y alta es también la ETP. Con ello se demuestra que la evaporación explica bien la desecación de las lagunas; no obstante no parece ser la precipitación directa la causa única de llenado de las higrocoras; así, ha de pensarse en otras fuentes de alimentación a las lagunas, tales como aguas subterráneas y esorrentía de la cuenca.

A la vista de la mayor correlación con la ETP de Thornthwaite los balances de agua de 1989 y 1990 se han realizado escogiendo la ETP de este autor. Expresados en la figura 17 se obtiene:

- Una notable diferencia entre los dos años, con ausencia de *exceso de agua* en 1990 definido como seco y, superávit de 140 mm en 1989, gracias a las tormentas generalizadas durante noviembre y diciembre. Este exceso se ve reflejado en el mayor nivel hídrico de las lagunas "temporales" (Chica de Villacañas y Peña Hueca) respecto a 1990. No obstante, un pequeño exceso de agua (140 mm en diciembre de 1989) no asegura aportes de agua considerables para la primavera si ésta es seca.

Fig. 15.- Evaporación mensual según diferentes autores.

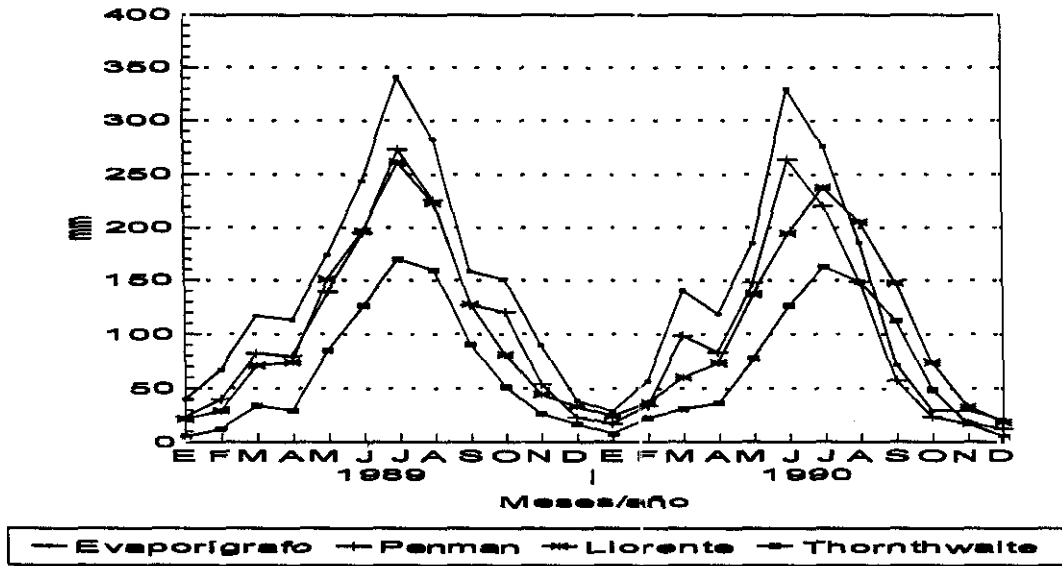
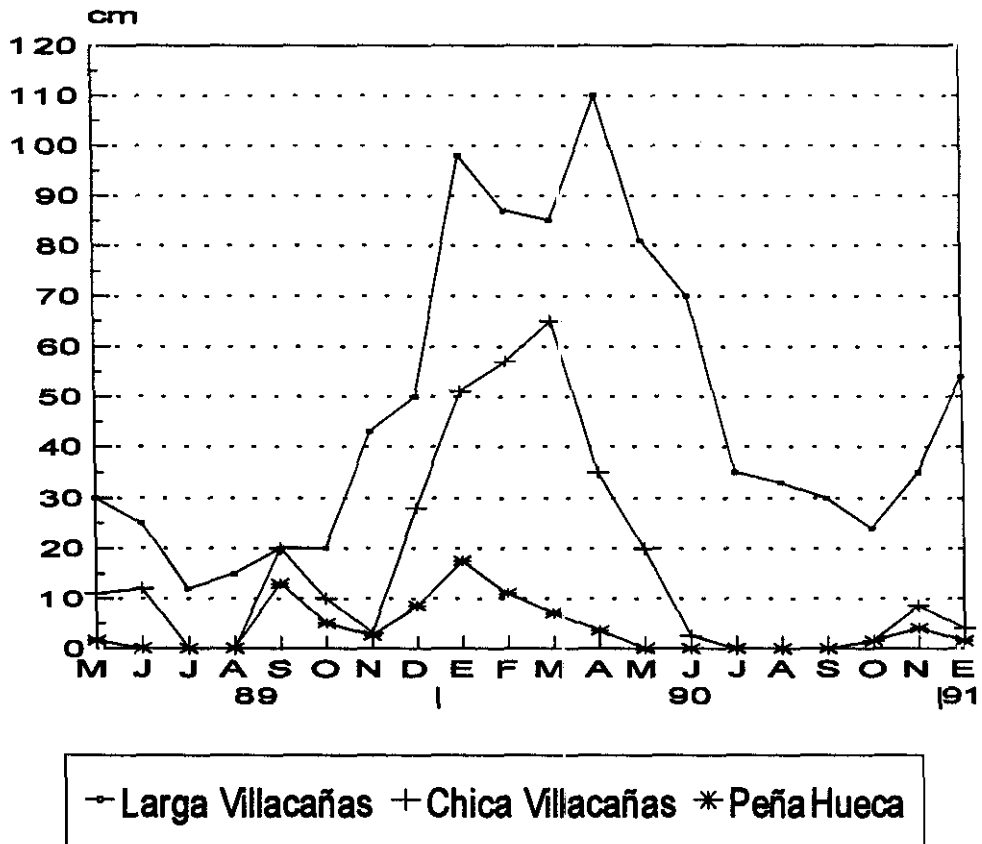


Fig. 16.- Altura del agua en tres lagunas manchegas.

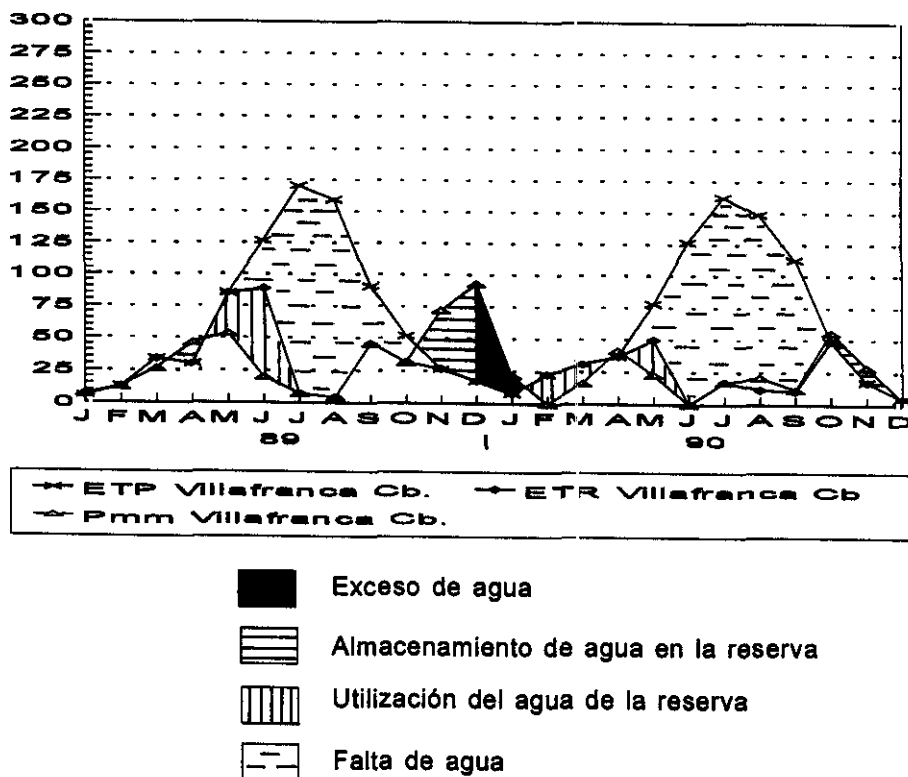


- Los períodos de *falta de agua* tienen también una clara correspondencia con los niveles de las dos lagunas mencionadas. De este modo, a una menor falta teórica de agua en verano según Thornthwaite, se observan períodos secos en los vasos lagunares más cortos (dos meses en Villacañas Chica y tres en Peña Hueca en 1989). Con idéntica relación, la mayor falta teórica de 1990 se corresponde con períodos secos más largos (3 meses en la laguna Chica y 5 en Peña Hueca).

- El período de *utilización del agua de la reserva* (de abril a junio/89 y de enero a abril/90) se corresponde en 1989 con un descenso generalizado de los niveles de las tres lagunas muestreadas. Debe destacarse, que los ciclos de agua del balance de Thornthwaite se refieren al agua del suelo y, los ciclos de los vasos lagunares presentan evidentemente volúmenes muy superiores. Por ello, existe un período de retardo en agotar el exceso de agua e iniciar la utilización del agua de la reserva; esto es, de comenzar a reducir las láminas de agua. Así, la laguna de Peña Hueca que presenta profundidades muy someras (< 18 cm) tiene una mejor respuesta o correlación con el período teórico de Thornthwaite. Por el contrario, las lagunas de Villacañas sí muestran el período de retardo comentado, especialmente en 1990.

- El período de *almacenamiento de agua en la reserva* también muestra una relación directa con el aumento de los niveles de las tres lagunas (ver figura 16, noviembre de 1989 y octubre de 1990).

Fig. 17.- Balance hídrico de 1989 y 1990



CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGÍA

II.1. INTRODUCCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS HIGROCORAS MANCHEGAS

El área estudiada -"humedales de la confluencia Riánsares-Cigüela"- se sitúa en la denominada Mancha Húmeda, que como su propio nombre indica se refiere a un sector de la región manchega donde se dan cita innumerables humedales, pero que manifiesta límites no del todo netos, por cuanto que el mismo concepto de humedal o higrocora va ampliándose y matizándose desde las últimas décadas, sin que se clarifique exactamente qué queda dentro y qué fuera de éste concepto, o cuándo un espacio que sí era evidente en épocas pasadas ha dejado de ser un humedal.

Pese a esta problemática no resuelta, puede establecerse un marco general, en primer lugar, para *La Mancha Húmeda*, concepto utilizado por numerosos autores aunque no muy bien definido y, posteriormente para las lagunas o higrocoras objeto de estudio y que ocuparán el espacio de los capítulos posteriores, sin que por ello, no se haga continua referencia al marco donde se ubican (*La Mancha Húmeda*).

La Mancha Húmeda se extiende por la Comunidad Autónoma Castellano-Manchega, por todas las provincias, excepto Guadalajara. Del resto de sus provincias se desarrolla por:

El sector suroriental de la provincia de Toledo, con el límite oeste en los Montes de Toledo, se desarrolla por las cuencas de los ríos Riánsares y Cigüela, por las extensas llanuras de inundación de ambos ríos y por numerosos focos endorreicos desconectados de la red fluvial actual. El límite norte lo forman los sedimentos continentales tabulares de edad miopliocena de la Mesa de Ocaña (comúnmente conocida como "caliza del páramo").

El cuadrante nororiental de la provincia de Ciudad Real, donde se ubican tanto los humedales más conocidos de La Mancha (el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y el Parque Natural de Las Lagunas de Ruidera), como los -no menos valiosos por su menor difusión- emplazados en La Llanura de San Juan (desde Alcázar de San Juan hasta el límite con la provincia de Cuenca). Este amplio y extenso conjunto de higrocoras tiene su límite sureste en las calizas y dolomías liásicas del Campo de Montiel y suroeste por los afloramientos volcánico-basálticos del Campo de Calatrava.

El límite E de *la Mancha Húmeda* se sitúa en las estribaciones más occidentales del Sistema Ibérico, (extremo suroccidental de la provincia de Cuenca) y está constituido

por la serie de pliegues y pliegues falla, correspondientes a los afloramientos mesozoicos (liásico a cretácico) con cierto recubrimiento paleógeno. Sin embargo, frente a una menor extensión superficial de los humedales conquenses, no debe pasar por alto la importancia que desempeñan para los humedales manchegos dichas estribaciones, pues seguramente supondrán un área de recarga de agua que tendrá, en muchos casos, como área de descarga los citados humedales.

Todo el conjunto aquí encuadrado tiene una extensión superficial de algo menos de 2.000 km², donde se ha generado una importante variedad de higrocoras -numerosas tablas y tablazos en las extensas llanuras de inundación de los ríos y en torno a 80 lagunas-, de formas, tamaños, cantidad y calidad de aguas distintas, diversidad de especies vegetales y faunísticas, de orígenes igualmente plurales, estados de conservación diferentes, etc.

Aquí, lejos de pretender hacer un estudio generalista, se ha centrado la atención en un pequeño sector del extremo suroriental de la provincia de Toledo, donde confluyen un afluente del Guadiana -el río Cigüela-, y uno de sus principales tributarios -el río Riánsares- y se dan cita otros humedales muy diversos (lagunas de Villacañas, laguna del Taray, laguna de Peña Hueca, laguna del Masegar y laguna de Tírez).

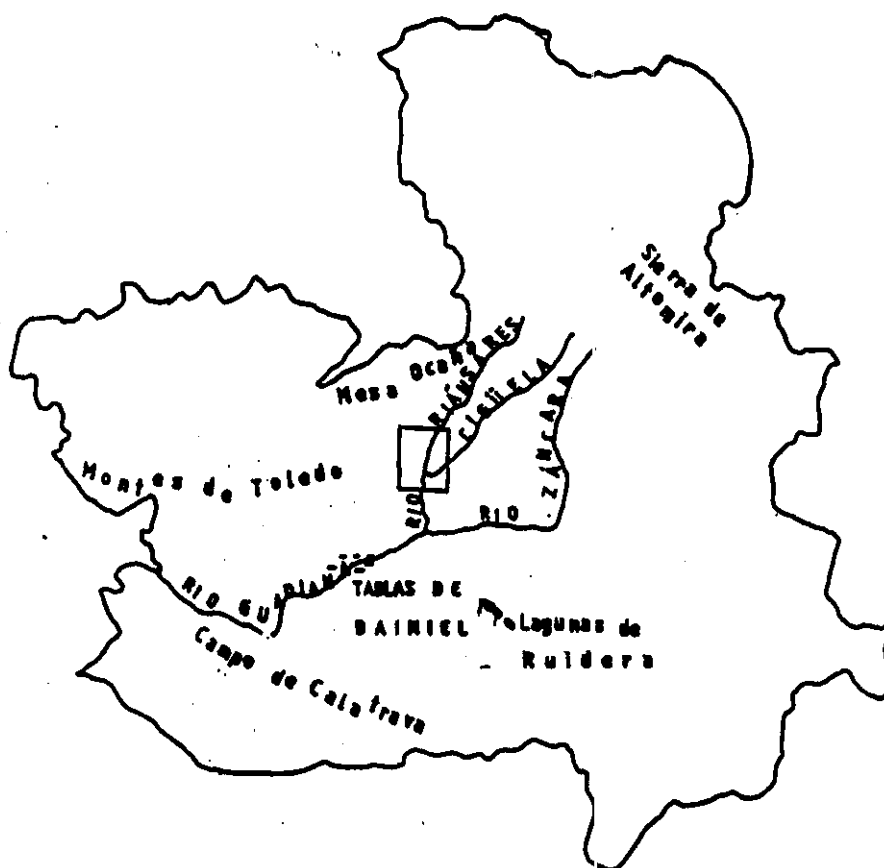
El área de estudio abarca unos 100 km² y queda comprendida desde el punto de vista administrativo en los términos municipales de Villacañas y Quero (provincia de Toledo), incluidos en el mapa topográfico nº 687 (Villacañas). Lógicamente, dado su carácter local dentro del espacio de la *Mancha Húmeda*, este sector se hallará rodeado a mayor o menor distancia por otros complejos endorreicos. Todos ellos deberán su explicación al emplazamiento descrito más arriba, pero la enorme variabilidad de higrocoras debe su existencia a factores más locales, dentro de la erróneamente denominada monótona llanura manchega. Por tanto, geomorfológicamente, el sector entre Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, dibujado en la figura 18, se halla delimitado por los conjuntos siguientes:

- Al oeste y noroeste: por las estribaciones más orientales y bajas de los Montes de Toledo, que destacan en el paisaje a modo de pequeñas sierras (Sierra del Romeral, 877 m) o picos aislados de menos de 800 m de altitud (Borregas, 788 m; Atalaya, 796; Espartosa, 724 m; Castillejo, 733 m; Sierra Morena, 695 m; Polillo, 725 m., etc). Se trata "de sobresalientes picos de montes-isla de los Montes de Toledo"¹³, con un claro predominio de rocas paleozoicas, entre las que destacan las cuarcitas ordovícicas.

A su vez, el área de estudio se emplaza bastante al noroeste de la *Mancha Húmeda*, pues los humedales más al oeste, esto es, más próximos al paleozoico, son muy escasos (laguna de Castillejo, la Espartosa y laguna de Tembleque) y, además, deben ser clasificados en la actualidad como "antiguas higrocoras" o "fondos de antiguas lagunas" (según la clasificación geomorfológica de la escuela de Entschede), debido a que los distintos usos agrícolas (puesta en cultivo de los fondos de las cubetas, canalizaciones para el desagüe y regadíos principalmente) han eliminado del paisaje estas lagunas y humedales.

¹³. -SANZ DONAIRE, J.J., DÍAZ ÁLVAREZ, M^aD. y PÉREZ DE EVORA, A. (1994): La Mancha, transformaciones forzadas de los humedales, *Boletín de la A.G.E.*, pág. 42.

Fig. 18.- Marco geográfico del sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela.



- Al este: queda separado de otros complejos endorreicos (lagunas de la Paloma, de Miguel Esteban, etc) por suaves relieves neógenos de naturaleza calcárea que poco destacan de la superficie aplanada que conforma el nivel de base donde se ubican las diferentes higrocoras. Hacia el sureste el área queda limitada por el relieve tabular que encuadra por el norte y el oeste a la laguna de Quero.

Conforme se produce el acercamiento hacia el límite oriental de la *Mancha Húmeda*, esto es, hacia las estribaciones ibéricas (provincia de Cuenca), se observa una sucesión compleja de lagunas kársticas (laguna de Navalengua, laguna de La Hinojosa, etc.) y pseudokársticas (Hoya Caraceno, La Saladilla, el Pozo Airón, etc.), según se hayan labrado sobre las calizas del páramo o sobre sedimentos evaporíticos continentales, y que han sido detalladamente estudiadas por DÍAZ ALVAREZ (1993).

- Al norte: al igual que por el oeste, algunos retazos del paleozoico asoman al norte del área de estudio, permitiendo en sus fracturas o líneas de contacto con el mioceno el desarrollo de algunas lagunas (laguna de Lillo). Al norte de estas elevaciones la Mancha se pone en contacto con los relieves tabulares miopliocénicos de la Mesa de Ocaña.

- Al sur: la comarca estudiada se encuentra separada del resto de lagunas endorreicas del Campo de San Juan por la gran mancha triásica, conformada por materiales areniscosos de fuerte coloración rojiza y rosácea (areniscas del Buntsandstein), que se extiende desde el sur de la laguna de Quero hasta Alcázar de San Juan y condicionará la formación de diversas lagunas, tales como la laguna de Las Yeguas, la laguna del Camino de Villafranca, etc.

El límite sur del Campo de San Juan viene configurado por los amplios terrenos cuaternarios depositados por la acción fluvial de la confluencia de los ríos Záncara-Cigüela y, más al suroeste, en la confluencia del segundo con el río Guadiana, dando lugar al más conocido humedal manchego: Las Tablas de Daimiel.

En general, La Mancha fue calificada frecuentemente de tierras llanas, de relieve monótono y casi simplista, donde los únicos elementos diferenciadores del paisaje eran: las alineaciones montañosas que la enmarcan, las colinas triásicas o cretácicas y las lagunas de carácter endorreico. El resto del relieve se consideraba como una sola unidad -la cuenca sedimentaria- hoy perteneciente a la cuenca del Guadiana.

Frente a la simplicidad y monotonía arriba expuesta, este capítulo tratará de acercarse al relieve manchego desde otro punto de vista. Se parte de un área de unos 100 km², llana -con diferencias máximas de nivel de 81 m- y geológicamente poco variada en superficie -predominio desde mioceno inferior-medio al cuaternario-, pero que cubre un complejo paleorrelieve. A partir de estas consideraciones, se tratará de exponer la enorme variedad geomorfológica que encierra La Llanura de San Juan, donde se dan cita formas de origen estructural, denudativo, fluvial, kárstico, pseudokárstico y eólico, todas ellas interrelacionadas bajo un evidente condicionamiento tectónico, como se irá explicando a continuación.

II.2. MARCO GEOLÓGICO

II.2.1 Aspectos litológicos

Las formaciones más antiguas presentes en el este sector manchego y que sirven de base para la sedimentación de las series más modernas pertenecen al paleozoico. Están constituidas principalmente por materiales cuarcíticos con algunos niveles areniscos intercalados del Arenigiense, sobre las que descansan pizarras arenosas del Llandeliense (IGME, 1976; FORNÉS, 1994).

Como se adelantó más arriba, el ordovícico aflora a la superficie en el marco NW y W del área de estudio, en la Sierra del Romeral (al NW del pueblo de Villacañas) y en el conjunto de picos, que con disposición N-S, conforman "el límite occidental de la Depresión manchega"¹⁴ y destacan sobre el paisaje por ser las unidades más sobresalientes, (cerros de Espartosa, Sierra Morena, Antonamas y Polillo). Dichos materiales se encuentran intensamente fracturados como consecuencia de los plegamientos acaecidos durante la orogenia herciniana y retocados tectónicamente en sucesivas fases.

La proximidad de los mismos (unos 6,5 km al W de la laguna de Tírez y a 3-4 km al NW de las lagunas Chica y Larga de Villacañas respectivamente) hace pensar que la misma formación se extiende por este área a escasa profundidad (IGME, 1952).

Las diferentes alineaciones de los afloramientos ordovícicos y la disposición de los materiales paleozoicos "corresponderían a un amplio anticlinal, posteriormente sometido a un fuerte proceso erosivo"¹⁵. Por los datos ofrecidos por el SGOP (1976) y por numerosos sondeos recogidos y representados en cortes geológicos y columnas estratigráficas por FORNÉS (1994), puede conocerse que el basamento ordovícico se encuentra a diferentes profundidades en el área de estudio debido a la intensa fracturación a que fue sometido el zócalo durante la orogenia alpina. Pese a los seguros desniveles locales, de manera general, el basamento va incrementando la profundidad de W a E. Aflora a escasos kilómetros de los humedades de Tírez y Villacañas, se encuentra "entre -22 m y -42 m en las inmediaciones SW y E del pueblo de Villacañas"¹⁶, a unos -115 m bajo la laguna de Tírez y desciende hasta -200 m al W del pueblo de Quero (al E del área de estudio).

Desde el punto de vista hidrogeológico, la litología y la profundidad del zócalo interesa para conocer su comportamiento como base impermeable.

Dentro del área de estudio el triásico aflora al S y SW de la laguna Larga de Villacañas, en depósitos de arcillas rojas con gravas de cuarcita y algún cuarzo. Este

¹⁴. -PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): *Neógeno y Cuaternario de la Llanura manchega y sus relaciones con la Cuenca del Tajo*. Tesis doctoral. Universidad de Madrid, pág. 69.

¹⁵. -FORNÉS AZCOITI, J.M.^a (1994): *Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Tomo 1, Memoria, pág. 42.

¹⁶. -FORNÉS AZCOITI, J.M.^a (1994): *Hidrología de algunas ...*, Opus cit., anejo 1.

depósito ha sido previamente comentado y cartografiado por el IGME (1976), aunque el afloramiento parece sobredimensionado, pues en campo sólo se ha reconocido en el borde S y SW de la citada laguna y no se encuentran afloramientos por el sector centro-occidental de la laguna, ni en las proximidades de la carretera TO-113, -área que está tapizada por sedimentos neógenos-.

En los límites del área de estudio se han descrito otros afloramientos triásicos -al SW-, en el borde occidental de la laguna de Tírez (IGME, 1976; PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE., 1989; DÍAZ ALVAREZ, M^aD., 1993 y FORNÉS AZCOITI, J.M^a, 1994) y están formados básicamente por areniscas de tonos multicolores (grisáceos, verduzcos y pardos) alternando principalmente con yesos¹⁷. En el límite SE, se han descrito al S de la laguna de Quero (IGME, 1952; SGOP, 1976; DÍAZ ALVAREZ, 1993 y FORNÉS, 1994), formados por areniscas del Bundsandstein, con algunos niveles de margas y arcillas.

En definitiva, todos estos afloramientos no son más que los "representantes más septentrionales del Triásico de Alcázar de San Juan"¹⁸, bien estudiados por NIÑEROLA et al., 1976; YEBENES et al., 1977, PÉREZ GONZÁLEZ, A., 1981 y PEINADO, 1994). Los diferentes autores lo han dividido en varias unidades litoestratigráficas con una potencia total de 135-175 m. Pero, frente a la extensión de los afloramientos, -muy importante entre Alcázar de San Juan y Campo de Criptana, y más reducida entre Villacañas y Quero-, debe destacarse que "las facies triásicas presentan una magnitud de sub-afloramiento realmente extraordinaria, bajo los depósitos pliocenos de la Depresión manchega"¹⁹. Así, de su extensión, profundidad y disposición litológica dependerá el posible establecimiento de capas más o menos permeables.

Buena información sobre la distribución y espesor de las formaciones triásicas en el área de estudio la facilitan los sondeos mecánicos (utilizados para la construcción de pozos) y que han sido detalladamente recopilados por FORNÉS (1994). A través de ellos se conoce, que el espesor varía de unas zonas a otras, en función de la proximidad de los afloramientos paleozoicos, y que, debido a los frecuentes cambios laterales de facies, presentan litologías sensiblemente diferentes. Pero, en general, "los materiales triásicos tienen un espesor comprendido entre 3 y 25 m (en el sector de Villacañas) y hacia el SE (Quero) alcanza espesores de más de 200 m"²⁰.

"Los materiales jurásicos en la Llanura manchega están pobremente representados"²¹ y, aunque los afloramientos son reducidos, el más extenso se sitúa en Campo de Criptana. Dentro del sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares-Cigüela, el jurásico se cita por primera vez en 1990 (SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ

¹⁷. -PÉREZ GONZÁLEZ, M^a.E. (1989): Estudio preliminar de los factores genéticos de la laguna de Tírez y su entorno (provincia de Toledo). XI Congreso de Geografía, Vol.II, pág.441.

¹⁸. -FORNÉS AZCOITI, J.M^a (1994): *Hidrología de algunas ...* Opus cit., pág.43.

¹⁹. -PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): *Neógeno y cuaternario ...* Opus cit., pág. 72.

²⁰. -FORNÉS AZCOITI, J.M^a (1994): *Hidrología de algunas ..* Opus cit., pág.44.

²¹. -PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): *Neógeno y cuaternario ...* Opus cit., pág. 75.

GONZÁLEZ, M^aE), en la margen occidental de la laguna de Peña Hueca, a modo de pequeños afloramientos de calizas y calizas dolomíticas del Liásico. Presentan el típico aspecto cavernoso y un débil buzamiento hacia el W. "Probablemente el mismísimo nombre de Peña Hueca haga referencia a las oquedades (originadas por la disolución de antiguos yesos sinsedimentarios) propias de las carníolas liásicas"²².

Existen otros afloramientos al oeste del anterior, en el cerro que delimita la laguna de Tírez por el W ("mota" de la edad de Hierro). Pero no vuelven a ser citados en ningún punto del área de estudio, ni aparecen registrados en los sondeos para aguas allí realizados, -sondeos que sí cortan o tocan las series jurásicas en el sector central del corredor manchego (PÉREZ GONZÁLEZ, A.; 1981)-. Por ello, se carece de datos para estimar la posibilidad real de recarga de las dolomías y su repercusión cuantitativa en los procesos de karstificación de los humedales endorreicos.

El neógeno ocupa junto a los depósitos cuaternarios la práctica totalidad del material aflorante entre Villacañas y Sur de las lagunas del Masegar y de Peña Hueca.

La bibliografía geológica existente sobre este área, más bien escasa, está basada casi exclusivamente en los trabajos realizados por el IGME (1952) y por el Servicio Geológico de Obras Públicas (1976), reflejados en sendos mapas y memorias explicativas. A éstos hubiera sido interesante poder añadir las columnas litológicas realizadas por el ITGE y recopiladas por FORNÉS (1994), pero se refieren todas ellas a áreas limítrofes a los 100 km² aquí estudiados. No obstante, dada su proximidad, serán utilizadas como referencia.

Una vez conocida esta información se trató de compararla y extrapolarla con la detalladamente elaborada por PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981) sobre las series neógenas al S del área de estudio y que abarca el resto de la Llanura de San Juan. Dicho autor data las distintas series neógenas en base a un exhaustivo análisis bibliográfico y de campo, comparando los resultados con otros de las áreas que la enmarcan, en concreto con los depósitos de la cuenca del Tajo, del Júcar y Cabriel, así como del Campo de Calatrava y del Campo de Montiel. Se apreciaron notables discrepancias entre los mapas geológicos o informes hidrogeológicos locales y la supuesta continuidad o similitud al sur del área de estudio en cuanto a las diferentes unidades litoestratigráficas del neógeno.

Tras el reconocimiento de campo y el análisis comparativo de la documentación existente, se ha establecido una sucesión litoestratigráfica para el sector en estudio, en la que caben destacar algunas puntualizaciones:

- Geológicamente se caracteriza por los estratos horizontales del mioceno y del plioceno, depositados en condiciones continentales de carácter fluvial, lagunar y en menor medida lacustre, en zonas próximas al borde de cuenca.

- Los materiales miocenos descansan en discordancia erosiva y angular sobre los materiales triásicos, con una marcada tendencia a la horizontalidad (FORNÉS, 1994).

- Existe una gran variabilidad de facies tanto en sentido horizontal como vertical, por tratarse de materiales de tránsito entre facies marginales y centrales de cuenca (POTERO y CORRAL, 1971 y PÉREZ GONZÁLEZ, 1981), como por existir dos áreas

²². -SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE. (1990): *Estudio de la dinámica de nutrientes en zonas húmedas españolas*. Inédito, pág. 26

fuentes de litología y relieves muy diferentes: los Montes de Toledo y la Sierra de Altomira (PORTERO y CORRAL, 1976).

Partiendo de las premisas expuestas arriba -materiales horizontales y cambios frecuentes en la extensión y potencia de las facies- paleogeográficamente se han reconocido dentro del sector Villacañas-S de la laguna de Peña Hueca la siguiente sucesión cronológica:

a) El mioceno: representado por el vindoboniense, pueden distinguirse dos series:

a.1) una, formada por depósitos evaporíticos y de finos, definida por arcillas rojas con grandes cristales de yeso con depósitos de gravas fuertemente ferruginizadas. Presenta una gran variabilidad litológica y de espesor, así como numerosos tramos intercalados sin solución de continuidad;

a.2) sobre la serie anterior y concordante con ella, se apoya la llamada "facies blanca" (PORTERO y CORRAL, 1971), compuesta principalmente por margas yesíferas, yesos y calizas margosas, siendo los materiales calizos más abundantes hacia el techo de la formación (SGOP, 1976).

b) Dentro del plioceno se distinguen dos etapas:

b.1) El plioceno inferior y medio está compuesto por arenas y gravas, fundamentalmente cuarcíticas muy rodadas, con algunos cantos de caliza redondeados, en una matriz arcillo-arenosa. Estos materiales se distribuyen a lo largo de los amplios valles de los ríos Cigüela y Riánsares²³. Alternan con depósitos de carácter fluvial -lechos de gravas, arenas gruesas y finas de composición cuarcítica y silíceo-, sólo visibles en el área de estudio al N de la laguna del Taray y que "alcanzan un espesor de más de 6 m, culminando el tramo arenoso-gravilloso con un potente caliche en el que también pueden apreciarse localmente concreciones de sílex"²⁴.

b.2) El plioceno superior conforma el tramo superior y está formado por calizas algares de pocos metros de espesor (< 5 m). Muestran la mayor representación y espesor al N de la laguna de Peña Hueca y W de la laguna del Taray. Hacia el norte las calizas se presentan en afloramientos discontinuos, al parecer por el adelgazamiento de las capas, y más al norte, vuelven a reconocerse al SW de la laguna de Villacañas.

Estas tablas calizas fueron originariamente datadas en este área (IGME, 1952; SGOP, 1976) y para toda la Llanura manchega como "pontienses", en base al yacimiento paleontológico de Puebla de Almoradiel (al NE del área de estudio), analizado y comentado por E. HERNANDEZ PACHECO, (1914 y 1921). Posteriores investigaciones

²³.-FERNÁNDEZ AZCOITI, J.M.^a (1994): *Hidrología de algunas ...* Opus cit. pág.50

²⁴.-SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ GONZÁLEZ, M.^aE. (1990): *Estudio de la dinámica de nutrientes ...* Opus cit. pág. 28.

en dicho yacimiento con nuevos hallazgos, y el estudio comparativo con otros yacimientos de la Llanura manchega (Villarrubia de los Ojos, al S del área de estudio) han llevado a diversos autores a situar al tramo superior de las tablas calizas de la Llanura de San Juan en el plioceno superior (DÍAZ MOLINA y PÉREZ GONZÁLEZ, 1976; PÉREZ GONZÁLEZ, 1981), por lo que, a las calizas superiores del sector Villacañas-Peña Hueca se le atribuye la misma edad.

Por último, los depósitos cuaternarios están formados en el área de estudio básicamente por sedimentos aluviales y se extienden por los valles de la red fluvial actual y áreas endorreicas, con un espesor medio de 5 m (FORNÉS, 1994). Abundan los materiales detríticos finos, de tonos pardo grisáceos, de baja energía mecánica (limos y arcillas).

Los sedimentos cuaternarios se ven íntimamente afectados por los depósitos subyacentes -ricos en yesos- y la climatología local. Así, la elevada evapotranspiración existente especialmente en los meses de verano provoca el ascenso por capilaridad de numerosas sales procedentes de las aguas subterráneas, subsuperficiales y de lavado de los yesos subyacentes, dando lugar a la formación de eflorescencias salinas, costras blanquecinas, suelos poligonales, crestas de sal, etc, según la cantidad de sales presentes en los horizontes inferiores del suelo, la cantidad de agua de lavado y la evaporación local. A su vez, no debe olvidarse que los sedimentos aluviales reposan sobre materiales pliocenos y miocenos ricos en yesos, que son susceptibles de disolución y, por ende, de provocar numerosos procesos pseudokársitos como se detallará más adelante.

II.2.2 Aspectos tectónicos

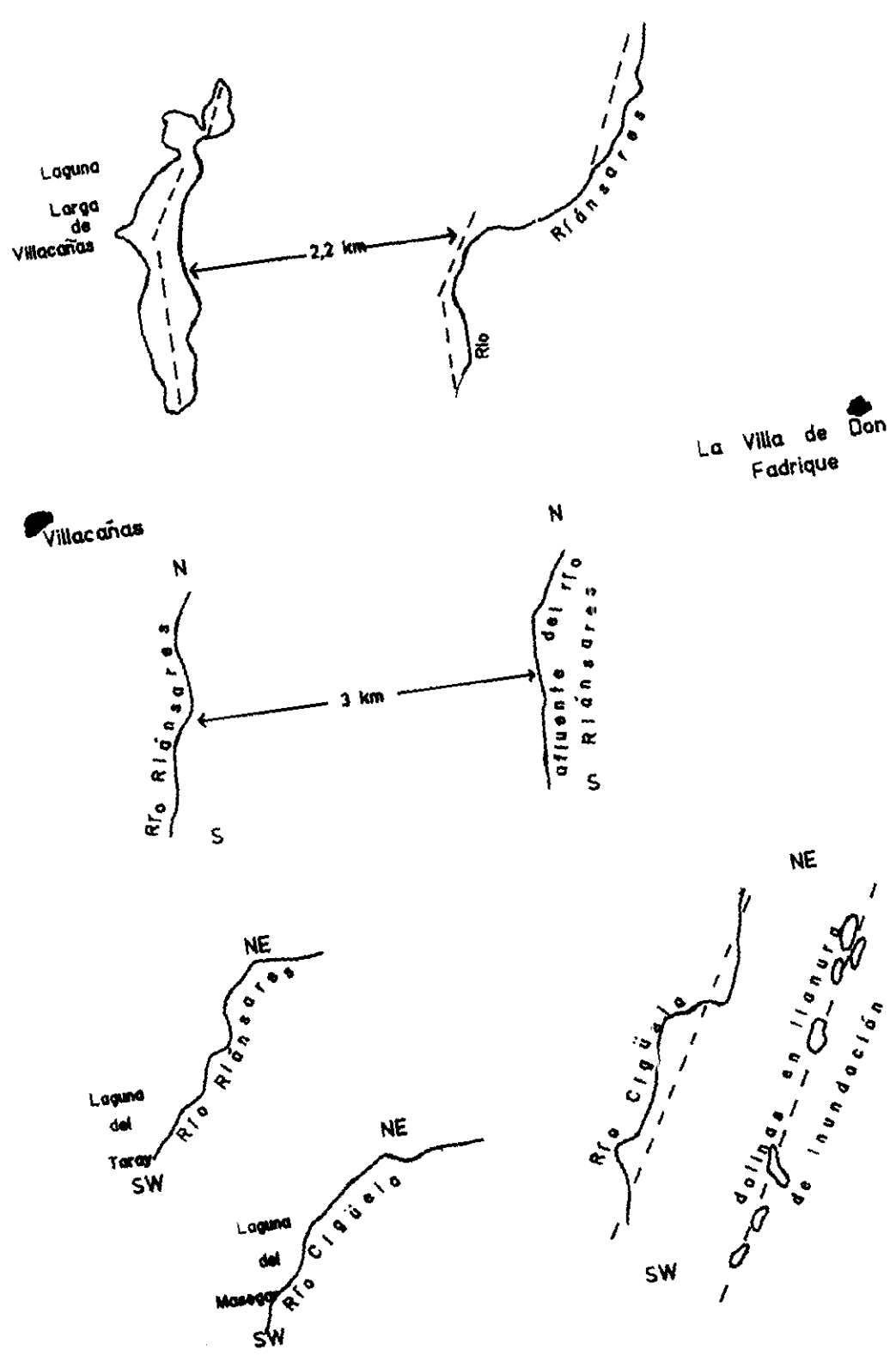
Conscientes del predominio de sedimentos aflorantes horizontales y de la falta de cortes o desniveles del terreno que permitan realizar análisis estructurales, no se pretende aquí hacer un estudio sobre la evolución tectónica de un sector de la Llanura manchega, sino apuntar los condicionantes tectónico-estructurales que tendrán un significado en las distintas formas geomorfológicas y, especialmente en las lagunas y áreas endorreicas. Esto es, se pretende hacer un estudio tectoestático que no tectodinámico.

A continuación se exponen los principales aspectos tectónicos existentes dentro del área de estudio:

- Por lo general, el sustrato paleozoico se halla a escasa profundidad por lo que está gobernando tectónicamente el conjunto de los paquetes superiores (SANZ DONAIRE, 1990 a). Recuérdese que el paleozoico se encuentra entre -22 m y -42 m en las inmediaciones SW y E del pueblo de Villacañas, y a unos -115 m bajo la laguna de Tírez, descendiendo hasta -200 m al W del pueblo de Quero. Por este motivo, especialmente el sector NW -próximo al núcleo de Villacañas- es muy susceptible de mostrar un evidente condicionamiento tectónico, tal y como se comenta a continuación.

- Existe una serie de paralelismos entre distintas morfologías actuales que sólo pueden ser explicadas por la existencia de fallas o fracturas en el sustrato, que condicionen determinadas alineaciones y/o faciliten el establecimiento y desarrollo de ciertas formas

Fig. 19.- Algunos ejemplos de supuestas fracturas del sustrato.



geomorfológicas. Los paralelismos más notorios están representados en la figura 19 y son los siguientes:

- Entre el cauce del río Riánsares y la laguna Larga de Villacañas, así como de los núcleos endorreicos existentes al S y E de la laguna (SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE., 1990).

- Entre el cauce del río Riánsares y otro curso fluvial que se bifurca del anterior, al E del área de estudio (SANZ DONAIRE, DÍAZ ALVAREZ Y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, 1994).

- A estos dos ejemplos, debe añadirse la propia disposición N-S de la laguna de Villacañas y su forma, que como su nombre indica, es alargada, pues debe establecerse en una línea de falla.

- También es conveniente destacar, los cambios bruscos de direcciones que experimentan los ríos Riánsares y Cigüela, ambos de NE-SW a N-S, el primero al NE del área de estudio y, el segundo, en el límite S de la misma. Entre los dos cambios de dirección mencionados hay unos 7 km de separación.

Hasta el momento se puede afirmar que el sustrato afectado por fracturas condiciona la ubicación de los ríos, de las lagunas y de los focos endorreicos. Pero como se tendrá ocasión de detallar más adelante la tectónica va a condicionar también la posición de otras formas, especialmente de origen kárstico y pseudokárstico. Así, vuelven a repetirse paralelismos entre formaciones fluviales, kársticas y pseudokársticas:

- Entre el río Riánsares y las dolinas desarrolladas en las calizas pliocenas que sirven de techo a las cerros tabulares o "mesas".

- Entre los ríos Cigüela y Riánsares, y gran cantidad de dolinas o torcas visibles en la llanura de inundación de ambos ríos, desarrolladas gracias a la presencia de materiales miopliocenos subyacentes ricos en yesos.

Por último, también se describen numerosas "cuestas" con dirección NE-SW, continuando en alineación casi perfecta con la laguna Larga de Villacañas, y ligeros buzamientos en los techos de las calizas pliocenas, que ponen de manifiesto retoques tectónicos postpliocenos.

II.3. MAPAS GEOMORFOLÓGICOS

Para el adecuado análisis de las distintas formas geomorfológicas, el área de estudio se ha cartografiado en 3 mapas a escala 1:10.000²⁵, (de los 16 que componen el mapa topográfico de Villacañas; ver fig. 20), con una superficie en torno a los 100 km². Están situados entre los 39° 37' 34'' - 39° 30' 04'' N y los 3° 21' 10'' - 3° 16' 10'' W (datum europeo) y la altitud media es de 670 m, aunque debe destacarse que la altitud disminuye progresivamente de norte a sur, tal y como se advierte a continuación:

²⁵. - Se han utilizado como mapas base los elaborados por la Sección de Urbanismo y cartografía de la Diputación Provincial de Toledo.

Mapa 1:10.000 de Villacañas	Altitud (m)	
	Máxima	Mínima
3-2	730,0 (extremo NW del mapa)	657,8 (Laguna Chica de Villacañas)
3-3	692,0 (extremo NW del mapa)	652,5 (Llanura de inundación del río Riánsares y lag. de Tírez)
3-4	674,0 (W de la laguna del Taray)	649,0 (Laguna de Peña Hueca)

Esta característica se mantiene en toda la Mancha Húmeda hasta alcanzar el mínimo hipsométrico en las Tablas de Daimiel, con 617 m. Del mismo modo y por estar enmarcada por relieves montañosos la altitud desde el centro de La Mancha también aumenta progresivamente tanto hacia el W (Montes de Toledo), como hacia el E (Sistema Ibérico). Con ello, puede afirmarse que la mayor parte de los humedales tienen su mejor representación en los puntos más bajos de La Mancha. Pero frente a esta aparente simplicidad se irá exponiendo la gran variabilidad de higrocoras fruto de una compleja interrelación de factores - erosivo-acumulativo, litológicos y tectónicos -, que tratarán de exponerse a continuación.

El estudio geomorfológico se ha realizado a partir de la interpretación de las fotografías aéreas correspondientes al vuelo de agosto de 1984, a escala 1:18.000 y verificada mediante un exhaustivo trabajo de campo. La cartografía se ha hecho a escala 1:10.000, utilizando como base los mapas de la Diputación Provincial de Toledo, en los que la equidistancia de las curvas de nivel es de 5 m.

El sistema cartográfico elegido ha sido el de la ITC de ENTSCHÉDE, pues es el que mejor describe las distintas formas del relieve manchego. No obstante, como para clasificar las diferentes formas estructurales y denuclativas uno de los elementos a tener en cuenta es el valor de la pendiente, se han escogido las siguientes categorías:

Denominación	Pendiente (%)
Topografía casi plana o aplanada	< 3
Topografía con pendiente suave	3-5
Topografía con pendiente moderada	6-8
Topografía con pendiente medianamente empinada	9-15
Topografía con pendiente empinada	16-25
Topografía con pendiente muy empinada	> 25

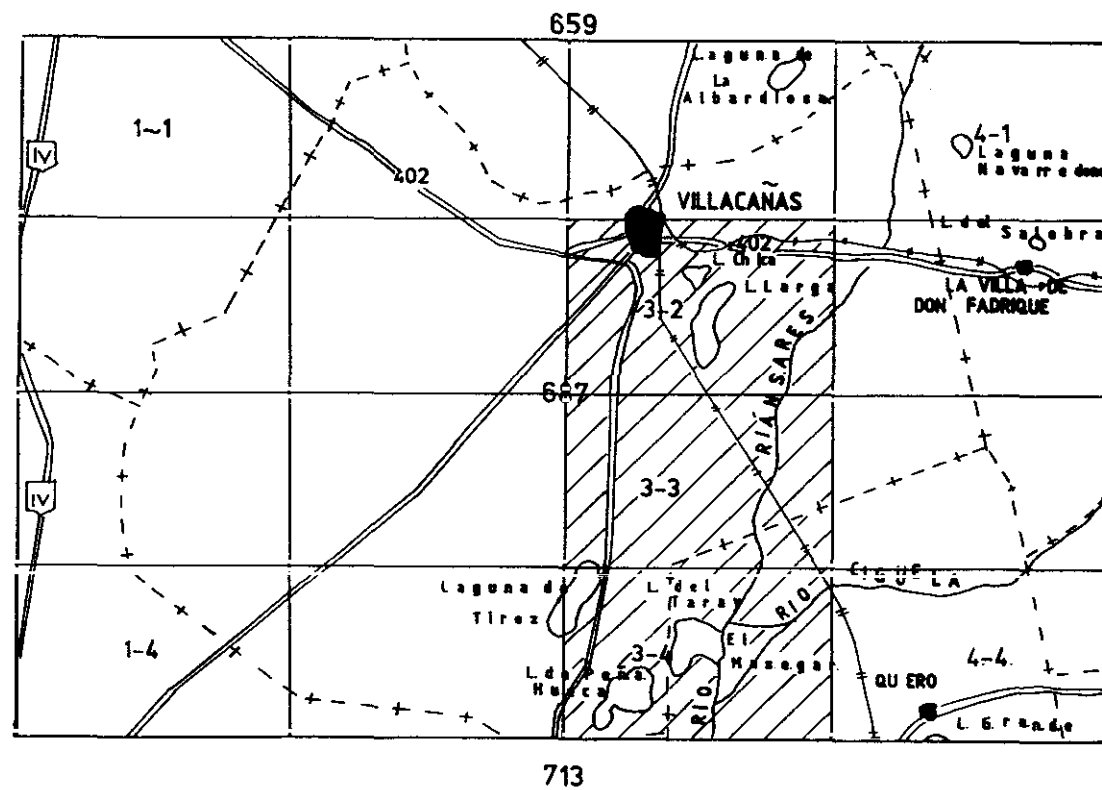


Fig. 20.- Distribución de los mapas geomorfológicos respecto al mapa topográfico.

II.4. FORMAS

II.4.1. *Formas de origen fluvial.*

II.4.1.1. *Lecho del río.*

Los dos lechos principales del entorno Villafranca-Quero corresponden a los ríos Riánsares y Cigüela. Ambos se definían, hasta hace sólo unas décadas, por tener lechos irregulares y de escasa profundidad (30-50 cm)²⁶ por los que circulaban canales anastomosados y eran frecuentes los bancos laterales, medianos, meandros, etc. En definitiva, existía una buena representación de formas fluviales propias de un ambiente semiárido que, en la actualidad, la mayoría han desaparecido y las que todavía perviven han dejado de ser funcionales, salvo casos aislados y esporádicos como se indica a continuación.

Las sucesivas obras de regularización y profundización de los cauces de ambos ríos, con la doble finalidad de evitar los desbordamientos ocasionales de los ríos e incrementar los aportes hídricos a las Tablas de Daimiel, han modificado drásticamente la morfología de los lechos. Así, en los tres mapas geomorfológicos (escala 1:10.000) además de lechos calibrados se advierten tramos muy rectilíneos que nada tienen que ver con la tectónica local, sino con las obras de ingeniería mencionadas.

A ambos lados de los lechos de los ríos, Riánsares y Cigüela, se observan malecones, localmente conocidos con el nombre de "palerías", contruidos con el material extraído del fondo de los ríos. Pero, frente al objetivo de evitar las casi inexistentes inundaciones se ha provocado una seria alteración en los sedimentos del fondo de los lechos (SANZ DONAIRE et al., 1994), aumentando considerablemente la permeabilidad de los mismos, con lo que se ha generado un impacto severo y no reversible a corto plazo.

Este aumento de permeabilidad fue poco valorado en los años inmediatos a las obras por que las fluctuaciones de caudales bien podían achacarse a las irregularidades hídricas, tanto anuales como estacionales, propias del clima mediterráneo. Sin embargo, el fenómeno de "pérdida de caudal" se ha hecho notorio con las medidas adoptadas a principios de 1994 de transvasar agua del Tajo al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel a través en parte del río Cigüela.

Tras dos meses de transvase este río, a su paso por el área de estudio, presentaba un caudal abundante, donde el agua ocupaba buena parte del lecho menor (sin inundaciones superficiales), pero también se extendía por los meandros abandonados y separados del lecho actual por las palerías. A su vez, el nivel piezométrico de la llanura de inundación se elevó considerablemente respecto a fechas anteriores al transvase, llegando a la superficie en las proximidades de Alcázar de San Juan; sin embargo la llegada de agua a las Tablas de Daimiel tuvo que esperar una prórroga a los plazos previstos.

Pese a las importantes transformaciones antrópicas mencionadas caben destacar las

²⁶. - Los ríos Riánsares y Cigüela, pueden observarse en las fotos 6 y 9, adjuntas a la memoria del mapa geológico de Villacañas (687), escala 1:50.000 de 1952, antes de las sucesivas obras de regularización y profundización de los lechos .

siguientes características geomorfológicas en los ríos mencionados:

- El río Riánsares: describe un cambio brusco de dirección en los 11 km de su cauce bajo aquí estudiados, de NE-SW a prácticamente N-S (ver mapa geomorfológico 3.2 y fig. 19). Este cambio brusco se produce a unos dos km al E de la Laguna de Villacañas y en este tramo el río mantiene una dirección similar a la propia laguna (la mitad norte con dirección NE-SW y la mitad sur, N-S), con el cambio de dirección a la misma latitud que el río. Este paralelismo sólo puede ser explicado por la presencia al menos de fracturas que controlan las direcciones dominantes.

En la actualidad el curso del río Riánsares se presenta seco la mayor parte del año y sólo muestra una somera corriente de agua continua, desde finales del otoño hasta principios de la primavera de los años húmedos. Otras veces el río presenta un curso intermitente, hecho frecuente tras las precipitaciones tormentosas, que como se vio en el punto I.8 se producen principalmente entre abril y septiembre.

Respecto a la pendiente del río el cuadro adjunto refleja que ésta disminuye de N a S, de 0,33 % a 0,19 %, al igual que sucede con la altitud y amplitud de cotas del relieve circundante.

Río Riánsares	Mapas Geomorfológicos (Escala 1:10.000)			Total/ media
	3-2 (687)	3-3 (687)	3-4 (687)	
Longitud del lecho (km)	4,55	5,24	1,40	11,19
Pendiente del lecho (%)	0,33	0,21	0,19	0,26

- El río Cigüela: con un recorrido en el área estudiada de unos 8 km, mantiene una dirección NE-SW entre la amplia llanura de inundación de la confluencia de este río con el Riánsares y el Cerro de las Olivas -relieve de topografía ondulada y carácter estructural-, (ver mapa geomorfológico 3-4 fuera del texto). Este tramo es un buen ejemplo para observar el contraste entre "el carácter meandriforme del antiguo lecho..., con numeroso meandros abandonados" (SANZ DONAIRE, DÍAZ ALVAREZ y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, 1994), y el cauce actual, mucho más rectilíneo. Sin embargo, junto al antiguo cauce, bien reconocido en las fotografías aéreas, es importante destacar el conjunto de torcas alineadas en la misma dirección NE-SW, por lo que parece evidente una estrecha relación entre formas fluviales y pseudokársticas con la tectónica local.

Al sur del mapa 3-3 se detecta un cambio de dirección en el río, N-S, a través de dos pequeños codos en los que se advierten bancos laterales.

- El arroyo del Vadillo: afluente del río Cigüela por la margen izquierda, recoge las aguas de avenamiento de la vertiente E del Cerro de Las Olivas. Como los ríos anteriores presenta un lecho bastante rectilíneo y calibrado a consecuencia de las obras de canalización. Al igual que el río Riánsares se mantiene seco prácticamente todo el año.

El arroyo del Vadillo tiene su origen en la bifurcación que debió sufrir el río

Cigüela para salvar el citado cerro, así como los dos "cerrillos" localizados al NE del primero, de igual topografía y carácter estructural.

II.4.1.2. *Lagunas.*

Esta denominación se refiere a los cuerpos de agua o lagunas existentes dentro del área cartografiada, incluyendo la superficie de agua máxima alcanzable a lo largo del año y la mayoría de los años, independientemente del origen, características hídricas, tipo de cuenca, duración temporal del agua en los vasos lagunares, profundidad, etc. De este modo, se representarán como lagunas también a las llanuras de inundación o "playas" que, al menos durante los meses de verano, quedan libres de agua. Así, queda reflejada cuál es la superficie periódicamente cubierta por agua.

Se han cartografiado un total de cinco lagunas: laguna Larga de Villacañas, laguna Chica de Villacañas o Gramosa, laguna de Peña Hueca, laguna del Taray de Toledo, laguna del Masegar, a las que se añade la laguna de Tírez, aunque tan sólo asoma el extremo nororiental (ver mapa 3-4 fuera del texto). Buena parte de los aspectos geomorfológicos (topografía, forma, tipo de márgenes, génesis, etc.) de algunas de estas lagunas (Larga de Villacañas, Peña Hueca, Tírez y El Masegar), han sido estudiados por DÍAZ ALVAREZ (1993), por lo que aquí, se analizarán sólo los aspectos que complementen al trabajo anterior, pero especialmente los que darán luz a los capítulos posteriores, de hidrología, suelos (potencial redox y descomposición de la celulosa) y vegetación.

Laguna Chica de Villacañas o Gramosa

Situada a unos 800 m al E del pueblo de Villacañas, presenta un fondo prácticamente plano a una altitud de 657,8 m.

Geomorfológicamente, está ubicada entre antiguos fondos de lagunas (a 658,7-663,0 m) en su mitad norte, y la superficie de topografía casi plana (a 662,2-665 m), constituida por materiales detríticos del plioceno, en la mitad sur. Pese a la escasa diferencia altitudinal dicha localización va a condicionar la forma de la laguna, sus márgenes y la propia cuenca.

La laguna Chica tiene una superficie de 8,1 ha (extensión máxima de la lámina de agua) y forma acorazonada, con 415 m de anchura máxima en el norte y la mínima de escasos metros en el sur, debido a que ha tenido más posibilidades de extenderse hacia las cotas más bajas -fondos de antiguos lagos- que hacia la superficie, aunque ésta estuviese ya de por sí muy erosionada.

Los márgenes de la laguna son sinuosos por el norte, con unos tramos casi horizontales y otros con pendientes suaves y moderadas ($< 8\%$), mientras que por el sur, el límite con la superficie de aplanamiento tiene márgenes escarpados, con pendientes muy empinadas ($> 25\%$). Estas diferencias serán determinantes en las variaciones hídricas del cuerpo de agua, que darán lugar a una "playa" sólo en la mitad norte de la laguna. También van a condicionar la presencia de plantas hidrohalófilas, con una mayor

transición y variedad en todo el margen septentrional de la laguna y aquéllas estarán más limitadas en el margen sur -más escarpado-.

La laguna Chica de Villacañas tiene un cuerpo de agua estacional y de origen pluvial, pero para entender posteriormente sus características hídricas, se apuntará aquí qué materiales conforman el fondo de la laguna y las áreas de avenamiento de la cuenca de la laguna.

En primer lugar, el fondo plano de la laguna está constituido por sedimentos aluviales y evaporíticos con un importante contenido en yeso. Durante el verano el fondo de la laguna queda cubierto por una fina capa salina, sin que llegue a formarse una costra, en la que se apuntan formas poligonales no muy acentuadas (escasos milímetros de altura y polígonos de tamaños centimétricos y/o decamétricos). De igual modo, también los suelos formados en el antiguo fondo lagunar que rodean la laguna por el N y NW muestran en verano eflorescencias salinas, tapizando gran parte de la superficie del suelo y de numerosas plantas halófilas. En general, los antiguos fondos lagunares están formados por depósitos aluviales detríticos de granulometría fina, propios de una deposición en aguas tranquilas.

Respecto a la "penillanura" que la rodea, presenta al noroeste potentes bancos de yesos blanquecinos "afectados por procesos de disolución"²⁷, y por el sur sedimentos detríticos del plioceno, formados por arenas con lechos margo-arcillosos y con gran cantidad de cantos de cuarcitas, muy rodados y pequeños (1-3 cm de diámetro mayor), todo ello alterado y removido por las distintas labores de cultivo.

Laguna Larga de Villacañas.

Se sitúa al SE del pueblo de Villacañas y al W del Río Riánsares, con una extensión superficial de 87,3 ha. Como su nombre indica presenta una forma alargada, de N a S, con una disposición casi paralela al río Riánsares.

La longitud máxima es de 2.750 m, aunque presenta un cambio de dirección, manteniendo la mitad meridional una dirección casi perfecta N-S (unos 1.400 m), mientras que la mitad septentrional adopta una dirección NE-SW (los 1.350 m restantes). La anchura, más irregular por los bordes sinuosos, oscila entre 500 m de máxima en la mitad S y 100-110 m de mínima en el N de la laguna.

La laguna Larga de Villacañas muestra un cuerpo de agua que rara vez supera el metro de altura (niveles medidos mensualmente durante los años 1989 y 1990) y, como la diferencia de cotas es de sólo 40 cm (entre 659,5 en el extremo sur, 659,2 en el centro de la laguna y 659,1 en el extremo norte), puede afirmarse que el fondo es prácticamente horizontal.

Geomorfológicamente, la laguna Larga de Villacañas está rodeada por relieves

²⁷. -DÍAZ ALVAREZ, M^aD. (1993): *Estudio descriptivo y geomorfológico de una selección de humedales de la Cuenca Alta del río Guadiana*. Proyecto de Investigación de doctorado. Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad Complutense, pág.120.

denudativos de escasa altitud, y se advierten que la mitad meridional marca el límite entre la superficie de topografía plana (al este y norte, con 660,4-666,1 m) y la superficie ondulada (al oeste), aunque el paso a ésta se realiza a través de las laderas basales (660,2-668,5 m).

La transición entre las distintas formas denudativas, integradas básicamente por materiales del plioceno, se ve interrumpida en el extremo sur de la laguna por el afloramiento de arcillas triásicas, que supuestamente ocupan parte del fondo de la laguna (bajo el cuerpo de agua). Éstas arcillas actuarán como capa impermeable, facilitando la salida a superficie de las aguas subsuperficiales y/o subterráneas. A su vez, serán las principales responsables de la mayor salinidad de la laguna Larga de Villacañas respecto a la Chica, separadas por el extremo norte a sólo 100 m.

Debido a su antigua estacionalidad y a su carácter estructural el cuerpo de agua de la laguna estaba originariamente muy delimitado en sus márgenes, aunque mostrara las fluctuaciones periódicas de nivel propias de la mayor parte de las lagunas manchegas. Sin embargo, la utilización de la laguna como vertedero de aguas residuales y/o industriales del pueblo del mismo nombre ha dado lugar, por un lado, al incremento considerable del nivel del cuerpo de agua, y por otro, a que sean frecuentes las inundaciones de áreas limítrofes, tanto de antiguos fondos lagunares, como de parte de la superficie. Estas inundaciones suceden cuando al continuo vertido de aguas se le suman regadíos y precipitaciones tormentosas locales y abundantes.

Laguna de Peña Hueca

La laguna de Peña Hueca se encuentra situada al E de la carretera local de Villacañas a Villafranca de los Caballeros (TO-113), entre los kilómetros 10,4 y 12,2. Dividida en dos vasos lagunares alcanza una superficie máxima inundable de 88 ha, 68 ha la mayor, de forma parecida a un cuadrado (con 1.120 m de eje mayor y 1.000 m de eje menor), y 20 ha la menor, al sureste de la primera y de forma ovalada (con 770 m de eje mayor y 410 m de eje menor).

Como puede observarse en el mapa geomorfológico 3-4, esta laguna presenta una cuenca de avenamiento bien delimitada y definida por una primera banda concéntrica correspondiente a fondos de antiguos lagos, constituidos por sedimentos aluviales de alto contenido en sales, donde afloran potentes bancos de yesos. A esa primera banda le rodea por completo la superficie ondulada, conformada por sedimentos detríticos vindobonienses (arcillas y margas rojizas con lentejones de conglomerados), a las que deben sumarse relieves periféricos, pero muy cercanos a la laguna y que conforman su cuenca de avenamiento. Estos son:

- al norte: la superficie estructural o mesa, elevada a 673 m de altitud y coronada por un techo de calizas ;
- al sur: los relieves de topografía ondulada y drenaje paralelo, con elevaciones máximas de 668-669 m., que se encuentran tapizados por un denso canturral de cuarcitas, -muy rodadas y con un radio mayor decimétrico- y,

- al oeste: por los relieves en cuesta que muestran su dorso hacia la laguna y se encuentran a una altitud de 658-656,5 m.

Aunque a primera vista, no parecen diferencias de nivel considerables, la laguna de Peña Hueca está localizada en el punto más bajo de toda el área de estudio, 646,5-649 m y todo su perímetro está delimitado por la isohipsa de 650 m.²⁸

Junto a las aguas superficiales o subsuperficiales de la cuenca, intermitentes y esporádicas, deben añadirse como aportes a la laguna las aguas freáticas procedentes de las carnioles que asoman en la margen occidental y supuestamente se encuentran bajo el fondo de la laguna, condicionando el desarrollo de la misma (SANZ DONAIRE y PÉREZ GONZÁLEZ, 1990 y DÍAZ ALVAREZ, 1993).

La laguna de Peña Hueca, con un cuerpo de agua muy salino y estacional, -como se tendrá ocasión de analizar en el capítulo de hidrología-, da lugar a una extensa "playa" en la que se originan diferentes formas de origen eólico y estructuras salinas periódicas. De las segundas, aquí solamente se quiere hacer mención a ellas, como formas geomorfológicas de carácter efímero, sin pretender entrar en el análisis de las estructuras salinas, ni en los factores que han intervenido en su evolución y génesis, objeto ya de por sí de un estudio aparte y, sobre todo de especialistas en la materia, como han venido realizando diversos autores en el conjunto de salmueras de La Mancha (SORIANO et al., 1977; BUSTILLO et al., 1978; PEÑA de la y MARFÍL, 1986, etc.).

Entre las formas de origen eólico, no representables cartográficamente por su pequeño tamaño (escalas incompatibles) se destacan:

a.- *Nebkas*: pueden distinguirse dos tipos por su tamaño y duración temporal:

- *nebkas estabilizadas*: se han formado en el fondo del antiguo lago, situado en el margen oriental de la laguna, muy próximas al abanico fluvial cartografiado en el mapa geomorfológico 3-4. Se trata de nebkas de tamaño decimétrico formadas a sotavento de los matorrales de albardín (*Lygeum spartum*).

- *Nebkas efímeras*: conformadas en el área de "playa" (fondo de la laguna) y cerca de los márgenes, por encontrar allí los dos elementos indispensables para su formación: un largo período seco, en el cual el depósito de los materiales finos transportados por el viento no sea movilizado por las aguas, y la presencia de obstáculos a partir de los cuales se forman las nebkas. Así, se crean a partir de la acumulación de finos a sotavento de innumerables cantos pequeños de cuarcita, siendo el tamaño máximo centimétrico.

b.- *Ripples*: se constituyen siempre en el fondo lagunar, durante el período más seco (meses centrales del verano), y adquieren un tamaño máximo centimétrico.

²⁸. - Datos facilitados por el mapa 3-4 de la Diputación Provincial de Toledo, de las 16 hojas a escala 1:10.000 que componen el mapa topográfico de Villacañas (687).

Respecto a las estructuras salinas, en la laguna de Peña Hueca se distinguen durante el período estival las siguientes:

c.- *Costras de sal*: se forman siempre en el fondo lagunar y llegan a adquirir un considerable espesor, de orden decimétrico. Esta costra tiene su continuación en los márgenes del vaso lagunar y fondos de antiguos lagos en una lámina somera formada por eflorescencias salinas, que no sobrepasa pocos milímetros de espesor. Su origen se debe a "la evaporación y precipitación de las sales"²⁹, aunque conocer la secuencia mineralógica es prácticamente imposible, por su variabilidad anual, estacional y puntual, como explican MARFIL y PEÑA (1986). Ellos atribuyen el problema a " las numerosas interrupciones que se producen a lo largo del ciclo de evaporación-precipitación. Es decir, cada vez que se produce un aporte de agua a la salmuera en un período de lluvia se produce la correspondiente disolución de la salmuera y un paso atrás en el orden de precipitación de las sales, con los consiguientes procesos de disolución de algunas sales ya formadas. Así, la costra resultante cada año es en realidad la superposición de secuencias parciales que en conjunto dan lugar a una ordenación hacia fases más solubles"³⁰.

d.- *Suelos poligonales*: se originan a partir de la formación de grietas de desecación de planta poligonal en el fondo lagunar durante el estío. Esta época se viene ampliando en los últimos años de abril-mayo hasta septiembre debido a la intensa sequía, pero sobre todo, debido a la manipulación del agua por parte del hombre, que lleva a retirar la somera lámina de agua (cargada en sales), antes de que la evaporación realice de forma natural el mismo cometido. Los polígonos adquieren en la laguna de Peña Hueca tamaños muy variados, desde 10-15 cm hasta varios metros. La posterior desecación de estas formas condicionará la formación de nuevas estructuras.

e.- *Crestas de sal*: formadas a partir de la ruptura y cabalgamiento de las uniones de los polígonos. Llegan a alcanzar 15-20 cm de altura y son visibles en el campo desde el mes de mayo hasta principios de septiembre (según la meteorología). Este fenómeno, característico de las lagunas más salobres (laguna de Tírez, laguna de Quero, etc.) se ha visto incrementado en los últimos años en Peña Hueca a consecuencia de la sequía reinante desde 1992 y sobre todo por la manipulación del agua, con la consiguiente incorporación al fondo lagunar de aguas procedentes de pozos cercanos, supuestamente muy cargadas en sales.

Laguna del Taray

La laguna del Taray, la mayor de las cartografiadas, tiene un cuerpo de agua con

²⁹.-SORIANO, J.; MARFIL, R. y PEÑA de la J.A. (1977): Sedimentación salina actual en la lagunas del norte de Alcázar de San Juan (Ciudad Real). *Estudios Geológicos*, 33, pág. 126.

³⁰.-PEÑA de la, J.A. y MARFIL, R. (1986): LA sedimentación salina actual en las lagunas de La Mancha: una síntesis. *Cuadernos de Geología Ibérica*, Vol. 10, pág. 254.

una extensión máxima de 98 ha, límites difusos y muy serpenteantes, pues posee una densa vegetación higrófila que impide ver, en muchos casos, la extensión real de la lámina de agua. A ello se le suma que está rodeada de una amplia llanura de inundación de topografía lógicamente muy plana y, donde las diferencias altimétricas entre el fondo lagunar y su entorno es inferior a un metro (654,0-654,5).

Parte del fondo lagunar ha sido rebajado en unas zonas para la realización de pequeños canales y, en otros, se ha elevado el nivel de base mediante la construcción de islas artificiales y pequeños muros interiores en la laguna. Con ello, aparte de mejorar las comunicaciones por la laguna, se consigue el doble objetivo de mantener el agua en épocas estivales adversas (en los canales), y crear lugares destinados a favorecer el anidamiento y cobijo de innumerables aves acuáticas (las islas).

Pero, frente a una actuación antrópica notoria -en favor de conservar la laguna con fines cinegéticos-, que trae consigo el mantenimiento de una lámina de agua bastante extensa, grandes extensiones de vegetación higrófila y una riqueza considerable de fauna, no debe menospreciarse su privilegiada localización geomorfológica, que da lugar primero a la laguna y posibilita las innumerables actuaciones posteriores.

La laguna del Taray debe su origen a múltiples factores, entre los que se destacan los siguientes:

- Está localizada en la desembocadura del río Riánsares, que aunque tiene un curso de agua intermitente e importantes pérdidas de caudal a lo largo de su curso, recoge buena parte de las aguas de avenamiento y subsuperficiales de la superficie de topografía llana y laderas basales que lo rodean.
- Se ubica en la confluencia de los ríos Cigüela y Riánsares, sector en el que ambos han desarrollado una vasta llanura de inundación.
- Está en un área claramente afectada por los procesos pseudokársticos, con la presencia dentro de la propia laguna y especialmente en sus inmediaciones del NE y E, de más de un centenar de dolinas o torcas. De ellas, al menos hasta años muy recientes, suponían un área de descarga de aguas subterráneas y subsuperficiales.
- La laguna del Taray recoge las aguas de avenamiento de buena parte de las superficies que la circundan: por el W y NW de una mesa estructural y laderas medias y basales y, por el sur de la superficie ondulada (ver mapa geomorfológico 3-4).

Con todo ello la laguna del Taray contiene aguas de procedencia muy diversas (superficiales, subsuperficiales y subterráneas), que le confieren una gran riqueza y variedad mineralógica y posibilitarán el desarrollo de comunidades vegetales y faunísticas específicas, por lo que cualquier alteración en las aguas (diversidad, contaminación y variaciones notorias en la cantidad) traerá indudables cambios morfológicos y biológicos a la laguna, que sin lugar a dudas ya se han producido.³¹

³¹ Quiere hacerse hincapié en este punto, pues hubiese sido muy interesante desde todos los puntos tratados en esta obra (geomorfología, meteorología, suelos, vegetación e hidrología) poder estudiar la laguna del Taray, de una

Laguna del Masegar

Esta laguna se encuentra asentada en la llanura de inundación de la confluencia de los ríos Cigüela y Riánsares, pero debe destacarse que los límites con la laguna del Taray (al oeste) y con el resto de la llanura de inundación que la rodea (por el sur, sureste, norte y noreste) son artificiales. Por el alcance de las transformaciones que aquéllos han ocasionado, serán explicados, en un punto aparte, bajo el calificativo de formas de origen antrópico.

Aunque geomorfológicamente la laguna del Masegar sea una llanura de inundación, para comprender las formas actuales es necesario tener presente la clara intervención por parte del hombre. Dichas formas tendrán una evidente repercusión en las dinámicas y ciclos del agua, de los suelos y de la vegetación. De este modo, la aparente planitud del fondo lagunar encierra las diferentes unidades expresadas a continuación³²:

- Depresiones artificiales, de forma lineal -en el caso de canales o zanjas (de 1-2 m de anchura), y circulares, cuando son fruto de la excavación para la construcción de "islas" (destinadas originariamente al anidamiento y refugio de aves acuáticas).

- Depresiones naturales, originadas por los distintos procesos de disolución y colapso de los sedimentos aluviales, que alcanzan desde tamaños métricos y decamétricos en las torcas del N y NW de la laguna, hasta tamaños centimétricos por la disolución puntual de los yesos que constituyen gran parte del suelo (tamaños menores no se mencionan aquí por quedar al margen del objetivo de este trabajo y ser objeto del estudio de otros autores (SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA, 1993). Otras depresiones naturales de la laguna la constituyen los antiguos cauces y meandros abandonados del río Cigüela, especialmente visibles al N y NW de la laguna.

- Elevaciones lineales de carácter antrópico, que ascienden el nivel de base de la laguna (653,2-654,5 m) en torno al metro de altura, y con el nombre popular de "cespederas" permiten el tránsito por la laguna en aquellas estaciones o años en que el fondo lagunar está ocupado por agua.

Debe destacarse que el cuerpo de agua representado en el mapa geomorfológico 3-4, (14,7 ha aproximadamente), corresponde al existente en 1982 (obtenido mediante la fotografía aérea) y que se mantuvo con las fluctuaciones estacionales y anuales características (que serán comentadas en el apartado de hidrología) hasta la sequía de 1992/1993, momento desde el cual no se han registrado más que pequeños charcones de agua, sin que recuerden lo más mínimo a las extensiones precedentes.

enorme riqueza y variedad, -más a fondo de lo que permiten las fotografías aéreas, mapas topográficos, mapas geológicos o la visita ocasional siempre por los límites o exteriores próximos-, pero la negativa por parte de sus propietarios no lo hicieron posible.

³². - En este lugar, se desea agradecer a la Fundación José María Blanc por permitir, apoyar y facilitar las innumerables estancias en su propiedad, indispensables para la realización de los diferentes apartados de esta obra.

II.4.1.3. *Llanuras de inundación.*

La llanura de inundación de los ríos Riánsares y Cigüela ocupan una gran extensión superficial, siendo máxima en la confluencia de ambos ríos (ver mapas geomorfológicos 3-3 y 3-4, fuera del texto). Pese a la proximidad de dicha confluencia puede distinguirse algunas características de ambas:

a) La llanura de inundación del río Riánsares presenta un desarrollo transversal claramente inferior a la del Cigüela, con un mínimo de 2 m en la margen izquierda del río, próximo al cambio brusco de dirección, de E-W a N-S (junto al "Molino de Enmedio", mapa 3-2) y un máximo de 1.530 m en la margen derecha al final de su recorrido y donde se une a la llanura de la laguna del Taray. Sin embargo, no puede hablarse de disimetrías entre ambas márgenes, pues la extensión a uno y otro lado del lecho del río varía conforme se modifica su dirección, fruto de un lecho originariamente anastomosado.

A su vez, los límites con la superficie casi horizontal que la rodea son difusos. Este hecho puede corroborarse tanto por la escasa o nula diferenciación altitudinal entre ambas formaciones, como por la interconexión de materiales aluviales y denudativos.

Por último, esta llanura presenta algunos meandros abandonados fruto del encauzamiento del lecho, pero sobre todo, destacar que las formas de disolución (torcas) sólo están presentes en el tramo final, en la confluencia con la llanura del Cigüela.

b) La llanura de inundación del río Cigüela, aunque con límites difusos por la confluencia con la misma del río Riánsares y del arroyo del Vadillo, presenta un desarrollo transversal que oscila entre varias decenas de metros al orden kilométrico (7,2 km de máximo en el mapa geomorfológico 3-4), a lo largo de 8,3 km de distancia longitudinal. Esta gran extensión superficial (en torno a 2 km² dentro del área de estudio), aparentemente monótona por su planitud y predominio de sedimentos aluviales, da lugar a una riquísima cantidad de formas, aunque por intervención de otros agentes, especialmente de origen pseudokárstico (torcas o dolinas).

Debe destacarse la ausencia de terrazas fluviales, por lo que se pone de manifiesto una aparente debilidad en la capacidad erosiva del río Cigüela, con un predominio de los procesos de sedimentación o abandono de materiales en un área de escasa pendiente. Sin embargo, la escasa incidencia de la red fluvial cuaternaria debe explicarse, más que por la falta de capacidad erosiva, por la falta de "ayuda" tectónica, -condicionante que sí es evidente en la fosa del Tajo-, que limitaría la capacidad de incisión del río Cigüela, al carecer de un hundimiento del zócalo y, con él, de los materiales sedimentarios suprayacentes; esto es "una tendencia a la no-subsidencia"³³, al menos en este sector de la cuenca del Guadiana.

³³. -SANZ DONAIRE, J. J. ; DÍAZ ALVAREZ, M^aD. y SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA, A. (1994) : La Mancha: transformaciones ... Opus cit. pág. 43.

II.4.1.4. *Barra.*

En el mapa geomorfológico 3-4 se ha cartografiado una barra arenosa formada por los sedimentos transportados por el río Cigüela y su afluente el arroyo del Vadillo, una vez que ambos han superado el obstáculo de la gran isla central situada al E del Masegar, y antes de cambiar fuertemente de dirección (a N-S) al sur del área de estudio.

Se trata, por tanto, de un área de descarga sedimentaria del río, localizada poco antes de ser obligado por los relieves estructurales y denudativos circundantes a reducir considerablemente la amplitud de la llanura de inundación.

Posteriormente a su formación y debido al escaso desarrollo altitudinal (de 0,5 a 2,5 m), dicha barra ha sido rodeada por la llanura de inundación del río Cigüela, quedando como una isla arenosa en medio de la llanura aluvial y dispuesta en la misma dirección que aquél, NE-SW.

II.4.1.5. *Fondos de antiguos lagos y pantanos de llanura de inundación.*

Se definen por una topografía llana o casi llana, de inundación rara y susceptible de acumulación lacustre de limos.

Los fondos de antiguos lagos mantienen dos localizaciones preferentes:

- una, a modo de bandas concéntricas alrededor de las lagunas y playas de Peña Hueca, Tírez, y Villacañas -Larga y Chica-;
- otra, son antiguas lagunas o fondos lagunares, aislados o conectados a las lagunas actuales, pero que carecen en la actualidad de un cuerpo de agua al menos estacional. Estos fondos son un vestigio de la pasada extensión e importancia que tenían los humedales manchegos, cuando los regadíos se limitaban a una pequeña superficie y todavía no era común para las aguas subterráneas el calificativo de sobreexplotadas .

Salvo una marcada actuación antrópica (Laguna Larga de Villacañas y laguna de Peña Hueca) estos fondos lagunares no reciben inundaciones de la lámina de agua de las lagunas que bordean o están próximas a ellas, pero sí, son claras áreas endorreicas y muestran encharcamiento ocasional después de copiosas tormentas o en años muy húmedos.

II.4.1.6. *Abanicos fluviales activos.*

Fruto de la escasa amplitud de cotas y la débil pluviometría en este espacio (< 400 mm anuales) no se han registrado abanicos fluviales ni activos ni inactivos en las cuencas de los dos ríos principales, Riánsares y Cigüela. Sin embargo, se ha cartografiado un abanico activo en el SE de la laguna de Peña Hueca, de pequeñas dimensiones (63 m de anchura y 45 m de longitud), escasa pendiente y formado por sedimentos de granulometría muy fina y color blanquecino a consecuencia del dominio evaporítico de los materiales.

Debe destacarse la morfología del abanico, con una anchura superior a la longitud, debido a que está formado por los aportes de dos canales o arroyos intermitentes, que discurren por el fondo del antiguo lago, casi plano, situado al E de la laguna y avenan las aguas de la superficie ondulada que la separa del complejo fluvio-pseudokárstico del Taray.

Estos arroyos apenas inciden en el suelo, sino que, con cursos de agua claramente débiles y anastomosados van lavando periódicamente las sales de la cuenca inmediata, pero sobre todo las que ascienden por capilaridad debido a la elevada evapotranspiración.

El arrastre de sedimentos por arroyada se ha visto incrementado en las últimas décadas por el notable aporte adicional de agua que suponen los regadíos de la cuenca, esto es, del entorno de la laguna de Peña Hueca.

II.4.1.7. *Meandros abandonados.*

Se han cartografiado en los tres mapas geomorfológicos un gran número de meandros abandonados, pertenecientes a los dos principales ríos, Riánsares y Cigüela. La mayor parte fueron abandonados en las últimas décadas, tras las sucesivas obras de ingeniería en los lechos de los dos ríos.

II.4.2. *Formas de origen denudativo.*

Las formas de origen denudativo son fruto de largos procesos erosivos que dan como resultado un relieve poco destacado y diferenciado a simple vista, pero que comporta una gran variedad en la denominada "llanura manchega", y el área que aquí se trata constituye una buena representación de los últimos estadios de evolución por los que ha pasado la Meseta Sur.

De las seis formas comentadas a continuación se diferencian, por un lado, las superficies de aplanamiento, como formas de relieves en sus últimas fases de evolución, y por otro, las laderas, que ponen en relación las formas estructurales y denudativas con las fluviales, a través de una gradación de pendientes.

II.4.2.1. *Superficie de topografía casi plana (<3 % de pendiente).*

Esta superficie está labrada sobre el plioceno con un predominio de "arenas con lechos margo-arcillosos y gravas"³⁴. Se caracteriza por una gran planitud (<3 % de pendiente), y una altitud que oscila entre 669,5 m al NE de la laguna Larga de Villacañas y 654,5 m en el límite con la llanura de inundación de la confluencia Riánsares-Cigüela. Además de casi horizontal, se presenta muy poco disecada, motivo por el cual, el agua, cuando hay, tiene serios problemas de evacuación y son frecuentes los fenómenos de endorreísmo y arreísmo locales. Esta superficie, que ocupa la mayor parte de la mitad oriental de los mapas 3-2 y 3-3, constituye en este tramo buena parte de la cuenca del río Riánsares y, por lo aquí indicado, es fácil imaginar los escasos o casi nulos aportes hídricos que se dirigen hacia el río.

³⁴.- MOP-SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (1976): Leyenda del mapa geológico del Estudio hidrogeológico del sureste de la provincia de Toledo (Zona Villacañas y Villa de Don Fadrique). Inédito.

II.4.2.2. *Superficie de topografía ondulada a moderadamente ondulada (3-8% de pendiente).*

Se diferencia de la superficie anterior por la topografía y por el grado de disección, ambos parámetros aquí superiores. Su disección más pronunciada se explica por una mayor diferencia altitudinal (de 705 m al NW del pueblo de Villacañas a 652 m en el extremo SW de la laguna de Peña Hueca) y por que es el resultado de la denudación de una mayor variedad de materiales "pliocenos (arcillas y margas rojizas con cantos, y zonas de concentración de carbonatos y sulfatos), pontienses (conglomerados, areniscas y arcillas margosas), y vindobonienses (arcillas y margas rojizas con lentejones de conglomerados, arcillas con yesos, arcillas arenosas y areniscas)"³⁵.

Esta superficie, casi paralela a la anterior, se extiende por la mitad occidental de los mapas 3-2, 3-3 y 3-4 y sirve de conexión entre los relieves paleozoicos (Sierra del Romeral, Castillejo, Espartosa, Borregas, etc. al W del área de estudio) y terciarios - principalmente cuevas y mesas estructurales).

II.4.2.3. *Laderas basales (< 3 % de pendiente).*

Se definen por ser laderas casi horizontales, apenas disecadas o sin disección y relativamente cortas (desde escasos metros a poco más de 1 km). Ocupan mayor extensión horizontal cuando sirven de enlace entre la superficie ondulada y las distintas formas aluviales -como por ejemplo al W de la laguna Larga de Villacañas (ver mapa geomorfológico 3-2). Mientras que dicha extensión se reduce cuando el enlace se establece entre los relieves estructurales y fluviales, pues, por lo general, existe una gradación de pendientes superior (ver al oeste de la laguna del Taray en el mapa geomorfológico 3-4).

En las laderas basales son frecuentes los procesos de erosión eólica, especialmente ripples y pequeñas nebkas (centimétricas), favorecidas por la horizontalidad del terreno, por las prácticas agrícolas del barbecho o cultivos de viñedos y la adecuación de los materiales. También es frecuente que se originen procesos de arroyada difusa y concentrada en surcos a favor de las líneas de mayor pendiente, en casos coincidentes con las labores de arado.

II.4.2.4. *Laderas de pendiente suave a moderada (3-8 % de pendiente).*

Se caracterizan por una topografía ondulada y escasa disección. En los tres mapas geomorfológicos se observa, que estas laderas generalmente ponen en contacto los relieves elevados de mesas y cuevas con la superficie ondulada. En algunos casos, los frentes de aquéllas se han conservado, pero es más frecuente que dorsos de cuevas y la superficie elevada de las mesas se pongan en contacto con la superficie a través de laderas de pendientes suaves o moderadas (ver mapas 3-2, 3-3 y 3-4, fuera del texto). Esto se origina

³⁵. -MOP-SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (1976): *Leyenda del mapa geológico...* Opus cit.

cuando los procesos denudativos han acabado con los frentes, posiblemente porque éstos eran de tan escasa potencia que fueron erosionados con facilidad.

II.4.2.5. *Laderas medianamente empinadas a empinadas (9-25 % de pendiente).*

Estas laderas presentan una topografía colina entre empinada y medianamente empinada, donde la disección suele ser mediana. Aunque en las inmediaciones del área de estudio estas laderas ponen en contacto los relieves paleozoicos con la superficie ondulada, en los tres mapas geomorfológicos solo está presente en el extremo noroccidental y suroccidental del mapa 3-2 (Villacañas), pues es el sector más próximo al paleozoico y, por tanto, con mayor transición de pendientes.

II.4.2.6. *Escarpe (> 25 % de pendiente).*

Las pendientes superiores al 25% son escasas en este sector manchego. No obstante, se han definido como escarpes, y por tanto, denudativos, los frentes de mesas y cuestas estructurales, por cumplir los requisitos topográficos -laderas empinadas a muy empinadas- y aunque presenten un condicionante estructural, las formas actuales tienen su origen en los procesos erosivos.

Junto a los anteriores también se han descrito diversos escarpes menores en algunos bordes lagunares de las lagunas de Villacañas -Larga y Chica- y, en la laguna de Peña Hueca, (ver mapas geomorfológicos 3-2 y 3-4 respectivamente).

II.4.3. *Formas de origen estructural y denudativo.*

Dentro de las débiles diferencias altitudinales existentes en este sector manchego, las formas de origen estructural son, como es lógico, las más destacadas y las que condicionarán la posición y dirección de formas originadas posteriormente, como es el caso de las fluviales.

A continuación, se irán exponiendo de mayor a menor desnivel de relieve las diferentes formas geomorfológicas de origen estructural, pues, es evidente, que los múltiples procesos erosivos han afectado y mermado considerablemente a las primeras, llegando a dificultar con frecuencia la identificación de los límites entre ambas.

II.4.3.1. *Topografía montañosa a colina.*

Se refiere a los relieves de pendiente empinada a muy empinada (de 16-25 % a > 25% de pendiente respectivamente) con hábito lineal y disección de moderada a pronunciada. Estos se corresponden con el paleozoico presentes en el límite W y NW del área de estudio, a modo de pequeñas sierras de direcciones dominantes:

- NW-SE (Sierra del Romeral, a 877-826 m y Rostrillo, a 743 m),

- N-S (Borregas, a 788 m; Atalaya, a 788 m; Castillejo, a 733 m; Sierra Morena, a 738 m, Polillo, a 725 m, etc), y
- SSW-NNE (Estanque, a 808 m y norte de Villares, a 751 m).

En la cartografía a escala 1:10.000 aquí presentada, sólo aparece un retazo de la Sierra del Romeral, situada al W del pueblo de Villacañas, en el extremo nororiental del mapa 3-2.

II.4.3.2. Mesas.

Respecto a la superficie ondulada que les sirve de base, destacan tres conjuntos tabulares, elevados a una altitud entre 681,5 m (SSW de la laguna Larga de Villacañas) y 674-671 m (al W de la Laguna del Taray y N de la laguna de Peña Hueca). Las tres mesas tienen en común que se encuentran en una misma franja longitudinal -al W del río Riánsares y al E de los relieves paleozoicos arriba comentados- y tienen un techo de caliza pliocena.

Entre las dos mesas extremas, esto es, al norte y al sur del área de estudio y cartografiadas en los mapas geomorfológicos 3-2 y 3-4 se describen pequeños retazos calcáreos, que son el techo de una mesa, que seguramente enlazase con las dos anteriores y formase una sola unidad estructural, pero al presentar en la parte central un adelgazamiento del paquete calizo ha sido más atacada por los distintos procesos denudativos. A su vez, su disposición lineal y serpenteante, paralela al cauce del río Riánsares, hace pensar en la existencia de paleocauces por debajo de las calizas pliocenas aflorantes, (favorecidos por fracturas o fisuras en el sustrato), y que serían los principales responsables de los procesos de karstificación que se han originado posteriormente en estos retazos calizos como se comentará más adelante.

II.4.3.3. Cuestas.

Se han cartografiado varios relieves en cuesta, con menor extensión superficial que los tabulares, más expuestos a los procesos erosivos, pero de vital importancia para comprender su papel determinante en la localización de algunos complejos endorreicos.

Al igual que en las formas anteriores, las distintas cuestas existentes en el área muestran una serie de rasgos en común, entre los que destacan:

- una altitud siempre inferior a los relieves tabulares (667 m al NE de la laguna de Tírez y 658-656,5 m al oeste de Peña Hueca);
- en general, presentan un frente que se orienta hacia el WNW y un dorso con buzamiento hacia el ESE;
- las cuestas no aparecen aisladas, sino que suelen mostrarse en paquetes de dos o tres cuestas paralelas (ver mapas geomorfológicos 3-3 y 3-4);
- rara vez mantienen las calizas en la superficie culminante, quedando al descubierto las margas yesíferas y margas rojizas del vindoboniense, mucho más deleznales.

II.4.3.4. *Topografía ondulada con drenaje paralelo y disección moderada.*

Este relieve se describe al sur del área de estudio, a modo de pequeñas elevaciones o cerros, dispuestos con una dirección NE-SW. Litológicamente el techo de la formación está dominado por un denso canturreal de gravas cuarcíticas fuertemente ferruginizadas que sirven de tapiz a la serie de arcillas rojas con yesos vindobonienses. Bajo esta formación se encuentran calizas de diferente edad -triásicas, jurásicas y miocenas- cuyas fracturas, diaclasas o discontinuidades laterales seguramente condicionen el drenaje y relieves suprayacentes.

Pese a su escaso desnivel (20 m en el Cerro de los Olivos, al W del Masegar, y 12 m entre esta laguna y la de Peña Hueca), han presentado un incuestionable papel en la dirección actual de los cursos fluviales y localización de áreas endorreicas. Así, el Cerro de los Olivos y su prolongación por el NE en "los Cerrillos" y por el SE en el "Cerro del Guijo" fueron relieves lo suficientemente resistentes para desviar el curso del río Cigüela, que en la actualidad pasa al pie de la vertiente NW del citado cerro; mientras que el río se bifurca aguas arriba en el arroyo del Vadillo. A su vez, los otros cerros de topografía ondulada y drenaje paralelo separan el lecho del río Cigüela de la laguna de Peña Hueca y constituyen el límite sur de la laguna del Taray.

II.4.4. *Formas de origen kárstico.*

El objetivo de este punto es describir los distintos tipos de formas de disolución y absorción cartografiadas en los mapas geomorfológicos adjuntos, y comentar su posición, extensión superficial, tamaño, forma, origen, funcionalidad actual y sus posibles relaciones con las higrocoras comentadas en el punto 1.2., sin que por ello se pretenda realizar un análisis exhaustivo de la karstificación en La Maricha Húmeda, tema que quedaría fuera de nuestro interés actual. También se citarán algunas formas menores de karstificación, no representables a escala en los mapas geomorfológicos, pero que mantienen en la actualidad una clara funcionalidad especialmente en las lagunas objeto de estudio.

II.4.4.1 *Dolinas o torcas.*

En los mapas 3-3 y 3-4 se han cartografiado un amplio conjunto de dolinas, bien diferenciables entre sí por todos los aspectos arriba mencionados. Atendiendo a la clasificación genética de CRAMER (1941) y utilizada por SORIANO (1986) para el estudio de las dolinas en la Depresión del Ebro, se pueden distinguir dos grupos: las dolinas de disolución normal y las dolinas aluviales.

Aunque claramente diferentes, debe comentarse que ninguna tiene las dimensiones kilométricas normales³⁶ citadas anteriormente por otros autores, tanto en la Llanura

³⁶. - Sic en el original. Se citan valores kilométricos, lo que parece reñido con las dimensiones habituales de las dolinas.

manchega, al sur del área de estudio (PÉREZ GONZÁLEZ, A, 1981), como en la Depresión del Ebro (SORIANO, 1986).

Dolinas de disolución normal

Un rasgo general de todas estas formas es que se desarrollan sobre las calizas pliocenas cartografiadas en el mapa geomorfológico 3-3 y comentadas en el punto 3.1. A lo largo de estos retazos calizos, visibles de forma interrumpida a lo largo de unos 2,5 km, se han desarrollado una veintena de dolinas y, aunque morfológicamente variables entre sí, pueden establecerse algunas características definitorias, de entre las que se destacan:

- a.- Las formas dominantes son redondeadas o elípticas, aunque en ocasiones la unión de varias o la formación de dolinas menores dentro de una mayor ocasiona formas más irregulares, ameboides y botroidales. Serían las denominadas "uvalas" en el karst esloveno.
- b.- Todos los fondos de las dolinas están cubiertos y tapizados con frecuencia por un suelo.
- c.- Las dimensiones oscilan entre las mayores, de un centenar de metros de diámetro mayor y unos 10 m de profundidad, y las menores, de unos 20 m de diámetro máximo y 2-3 m de profundidad. Al menos las primeras podrían clasificarse como *dolinas en embudo*, aunque es difícil de precisar exactamente la relación diámetro-profundidad porque en todas el fondo está cubierto.
- d.- Las dolinas mayores presentan vertientes netas y muy inclinadas, especialmente cuando buena parte de las vertientes la constituyen los paquetes de calizas que comportan el techo de la mesa estructural. Estos paquetes se presentan ligeramente inclinados o subhorizontales según los casos.

Para el inicio de la karstificación se requiere una litología adecuada, -las calizas del plioceno superior-, una superficie de escasa inclinación, la existencia de fracturas y de precipitaciones suficientes para desencadenar los procesos de disolución.

La disposición de las dolinas alineadas a lo largo de retazos calizos dispuestos con dirección N-S ó NW-SE, (paralela al cauce del río Riánsares), de modo suavemente serpenteante hacen recordar a un cauce fluvial. Es decir, parece que por debajo del techo calizo (del plioceno superior), en este área con menor espesor, se evidencia una antigua red fluvial (del plioceno medio o inferior).

Así, la formación de las dolinas de disolución normal debe atribuirse, por un lado, al menor espesor de las calizas pliocenas -que facilita la fracturación y su posterior denudación- y, por otro, a la existencia de una antigua red pliocena en favor de la cual se han producido los distintos fenómenos de disolución y colapso. Dentro del área estudiada tan sólo se han encontrado dichos depósitos al N de la laguna del Taray, pero la existencia de una antigua red pliocena ya ha sido comentada por otros autores para otras áreas de la cuenca del Guadiana (MUÑOZ JIMÉNEZ y PALACIOS ESTREMER, 1990; PALACIOS ESTREMER, 1990 y PÉREZ GONZÁLEZ, 1981). Para el último autor,

la etapa álgida de karstificación en la llanura de San Juan se sitúa en el plioceno superior.

Dolinas aluviales

Las dolinas aluviales deben su representación y elevado número en la comarca estudiada, a la existencia de una vasta distribución del yeso neógeno. "Se originan cuando el material susceptible de ser disuelto (el yeso) está cubierto por aluviones u otros depósitos superficiales y se desarrollan las depresiones cuyas vertientes están formadas por estos aluviones"³⁷. Se forman, por tanto, sobre los materiales aluviales que cubren los yesos miopliocenos. Se trata, pues, de un pseudokarst cubierto.

Aunque en la llanura aluvial del río Riánsares se han cartografiado algunas dolinas, donde adquieren su mejor y mayor representación es en la confluencia de este río con el Cigüela; esto es, entre los citados ríos y las lagunas del Taray y del Masegar (ver mapa geomorfológico 3-4), que tendrán su origen en una estrecha relación entre los procesos fluviales y los pseudokársticos.

Como puede observarse en el mapa geomorfológico 3-4 se han desarrollado más de doscientas dolinas, con una gran variedad de tamaños y formas. Al igual que en el caso anterior se definen a continuación los rasgos más destacados:

a.- Las dolinas o torcas (como popularmente se conocen) se encuentran tanto en la llanura aluvial de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, como en el lecho menor de los ríos, especialmente del segundo. En cualquier caso se desarrollan por la disolución de yesos, no de caliza, motivo por el cual el fenómeno se define como pseudokarst.

b.- Desde el punto de vista morfológico, las formas no son tan homogéneas como las dolinas de disolución normal, sino que presentan una enorme variabilidad, diferenciándose los cuatro tipos indicados por SORIANO (1986), aunque como se recordará, aquí los tamaños son muy inferiores a los descritos por este autor:

- *Dolinas en cubeta*: se definen por tener un diámetro muy superior a la profundidad y, mostrar un fondo donde se ha formado un suelo y está tapizado por vegetación. La forma suele ser elíptica, pero también pueden encontrarse elongadas, disimétricas, abiertas o compuestas, como las descritas por PÉREZ GONZÁLEZ, A (1981) en la Llanura de San Juan. Dicho autor las denomina dolinas en artesa: "con fondo plano y cubierto ... , donde la profundidad de la dolina es varias veces menor que la longitud de su eje mayor"³⁸.

³⁷. - SORIANO, M.A. (1986): Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro. *Bol. Geológico y Minero*. Tomo XCVII, pág. 66.

³⁸. - PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): *Neógeno y cuaternario de la Llanura Manchega...* Opus cit., pág. 569.

La localización de estas dolinas es la más dispersa de las aquí comentadas, encontrándose por la mayor parte de la llanura aluvial cartografiada (del río Riánsares, del Cigüela, de la confluencia de ambos y del arroyo del Vadillo -afluente del segundo-). Su distribución espacial, con tamaños que oscilan de uno a varias decenas de metros y profundidades igualmente variables (de escasos decímetros a 1-1,5 m), conforman la topografía de detalle de la extensa llanura aluvial aquí descrita. De su densidad dependerá la mayor o menor pérdida de agua por filtración y, entre otros, el desarrollo de múltiples procesos edáficos, estudiados en éste área por SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA Y SANZ DONAIRE (1993 y 1994).

Debe destacarse que la dolinas aluviales en cubeta o en artesa cartografiadas en los mapas 3-3 y 3-4, muy diversas en tamaños, profundidad y desarrollo de sus vertientes no cumplen siempre la relación entre estos tres parámetros, como sí sucede en las estudiadas por PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981). En éstas: "a mayor profundidad, corresponde un mayor dimensionado de la dolina y por lo general bordes más netos y con pendientes más rápidas. La pequeñas o medias dolinas, son de borde cubierto y paredes menos inclinadas"³⁹.

- *Dolinas en embudo*: son casi siempre pequeñas, de forma redondeada, ovalada o elíptica, de diámetro de orden métrico y de 0,5 a 2 m de profundidad. Aunque las mayores pueden alcanzar varias decenas de diámetro y 3-4 m de profundidad (laguna del Taray). Las vertientes de las dolinas son muy pronunciadas, y las que estacionalmente suelen tener agua, son más amplias en el interior que en superficie debido a la mayor disolución de las paredes.

Las dolinas en embudo, originadas por el doble proceso de disolución y colapso, se localizan preferentemente al N de la laguna del Masegar y E de la laguna del Taray; esto es, entre la margen izquierda del tramo final del río Riánsares y la margen derecha del río Cigüela, donde confluyen las llanuras de inundación de ambos.

- *Dolinas en escotilla*⁴⁰: en las que el diámetro es menor que la profundidad y sus vertientes son muy abruptas. No suelen sobrepasar el metro de diámetro y la profundidad puede ser superior a dos o tres metros.

Se localizan al igual que las anteriores próximas al límite de las lagunas del Taray y del Masegar, seguramente en el área de mayor "descarga" del las aguas subterráneas y subsuperficiales, al menos de un pasado muy reciente.

En años húmedos y frecuentemente antes de la sobreexplotación del acuífero 20, las torcas o dolinas en embudo y en ventana desbordaban con cierta periodicidad y suponían un aporte importante de agua a las lagunas del Taray y del Masegar. En la actualidad son ya varios los años en que, al menos en la segunda de las lagunas citadas,

³⁹. - PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): *Neógeno y Cuaternario ...*, Opus cit., pág. 570.

⁴⁰. - Se propone aquí sustituir el término de dolina en ventana (CRAMER, 1941 y SORIANO, 1986) por el de dolina en escotilla (escogido de la terminología naviera), pues la palabra "ventana" induce a pensar en un vano lateral, mientras que el propuesto de "escotilla" hace referencia a un hueco o abertura hacia el interior, más acorde con el tipo de dolina a definir.

no se registran dichos aportes y los existentes apenas cubren el fondo de las torcas. En el NE de la laguna del Masegar FORNÉS (1994) midió la altura del agua en seis torcas (tres en la margen derecha del río Cigüela y tres en la izquierda) durante los años 1991 y 1992⁴¹ y, puede observarse un cambio de tendencia entre ambos años. Durante el primero, las diferentes torcas presentaban agua con alturas que oscilaban de 0,25 m -respecto a 1,90 m de profundidad- a 1,10 m -respecto a 2,50 m de profundidad- (datos de octubre y diciembre), mientras que las mismas torcas mostraban un fondo totalmente seco durante el mismo período del siguiente año.

- *Dolinas en sartén*, descritas por PALMQUIST (1979) y recogidas por SORIANO (1986) para la dolinas de la Depresión del Ebro. Se definen por una profundidad inferior al diámetro, pero se forman "a causa de la obstrucción que sufren las dolinas en embudo debido al exceso de material clástico. Su tamaño depende entonces exclusivamente del flujo superficial y la erosión del suelo. El sedimento no es removido y la profundidad de la dolina disminuye mientras que su área aumenta"⁴².

Las dolinas en sartén son las que presentan en la actualidad una mayor evolución, pues las dolinas en embudo y en ventana tienden a tener día a día menor funcionalidad debido al fuerte descenso del nivel freático. Así, son los procesos erosivos los que más actúan en detrimento de los procesos de disolución y colapso, que aunque sin desaparecer, al menos, sí han frenado su actividad respecto a décadas anteriores.

Influencia tectónica en la distribución de las torcas.

Tal y como se advierte en los mapas geomorfológicos 3-3 y 3-4 buena parte de las dolinas aluviales o torcas se alinean en la misma dirección que algunos tramos rectilíneos de los ríos Riánsares y Cigüela (N-S, NE-SW preferentemente), similitud que sólo puede ser explicada por la existencia de fracturas que condicionen las direcciones dominantes de dos formas diferentes: fluviales -el cauce de los ríos- y pseudokársticas -las torcas o dolinas-.

De la misma manera, las dolinas de disolución normal muestran una linealidad a lo largo de los pequeños retazos de caliza que conformaban una antigua mesa. Aquí, junto a un condicionante tectónico, debe añadirse la supuesta existencia de paleocauces, ya comentados por otros autores (MUÑOZ Y PALACIOS, 1992) en tramos altos de la cuenca del Guadiana, que igualmente se labrarían siguiendo la dirección de fracturas o diaclasas. En superficie quedan como testigo un rosario alineado de dolinas que, a su vez, muestra gran paralelismo con el cauce actual del río Riánsares.

⁴¹. - Los datos mensuales están recogidos en la Tesis Doctoral de FORNÉS AZCOITI, J.M^a (1994): *Hidrología de algunas lagunas ...* Opus cit., Tomo 1, pág. 149.

⁴². -SORIANO, M.A. (1986): *Dolinas de disolución normal y ...*Opus cit, pág.66.

II.4.4.2 *Lapias oqueroso*

Estas formas han sido descritas por DÍAZ ÁLVAREZ (1993) en las lagunas de Peña Hueca y de Tírez. Presentan cavidades de tamaño centimétrico y decamétrico, originadas por procesos de disolución y desgaste por gotas del lluvia y bajo una importante lámina de agua.

II.4.5. *Formas de origen antrópico.*

Debido al importante papel desempeñado en la evolución actual de todas las higrocoras manchegas por parte de las obras de ingeniería, se ha creído conveniente incluirlas en la cartografía, aunque, como es lógico, no mantendrán la escala correcta, pues de otro modo no serían visibles.

II.4.5.1. *Malecones o muros*

Bajo este epígrafe se han representado dos obras diferentes. Por un lado, se trata de los malecones o "palerías" realizados para el encauzamiento de los ríos Cigüela y Riánsares, construidos a partir de 1987 y que elevan el nivel del suelo entre 1-2 m.

Por otro, se levantaron muros perimetrales a las lagunas para establecer el límite de aquéllas que son fincas privadas (laguna del Taray, laguna del Masegar y laguna del Molino). También se construyeron muros interiores realizados con el material sobrante de la excavación de los canales interiores de las lagunas, con el objetivo de facilitar su acceso en épocas en que éstos y las antiguas llanuras de inundación tienen agua (que, por lo general, no procede del desbordamiento del río, como se tratará en el apartado de hidrología). Estos pequeños muros localmente reciben el nombre de "cespederas" y fueron "antiguamente utilizadas por los monjes medievales de la Orden de Santiago... Con ello pretendían que el agua permaneciera también durante el fuerte estiaje del verano y así mantener una fuente de alimentación y riqueza: el pescado"⁴³. En definitiva, las cespederas, y hoy en día también los canales, sirvieron antiguamente y sirven ahora para el uso del medio por parte del hombre. En el medievo, para cubrir las necesidades alimenticias de pescado, especialmente en comunidades ortodoxas, deseosas de cumplir con el precepto del viernes; en la actualidad, sin despreciar ocasionalmente este motivo, se encaminó primero para uso cinegético y posteriormente el recreativo. El problema se plantea, cuando tras las importantes inversiones y obras realizadas, falta un elemento indispensable en el ecosistema de las higrocoras: el agua.

⁴³. - SANZ DONAIRE, J.J. y SÁNCHEZ PÉREZ DE EVORA, A: (1993): Humedales manchegos: características de funcionalidad geodáfica. Resultados preliminares. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, n° 13, pág.173.

II.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL SECTOR COMPRENDIDO ENTRE VILLACAÑAS, LA LAGUNA DE PEÑA HUECA Y LA CONFLUENCIA DE LOS RÍOS RIÁNSARES Y CIGÜELA.

Este sector, perteneciente a la comarca morfológica de la Llanura de San Juan, presenta una gran variedad de formas: fluviales, denudativas, estructurales, kársticas, pseudokársticas y antrópicas, que difieren por completo del calificativo monótono o simplista atribuido desde hace décadas para la Llanura de San Juan.

Se trata de un sector de la cuenca sedimentaria algo atípico. Por un lado, la presencia del sustrato aflorante en las inmediaciones occidentales y próximo a la superficie (en buena parte del espacio estudiado está entre 0 y -200 m), lleva a pensar en una débil sedimentación terciaria, definiéndose así la primera anomalía respecto a la noción clásica de cuenca sedimentaria (de grandes dimensiones y espesores de sedimentos). Por otro, se trata de un área de borde de la cuenca en la que estarán presentes cambios laterales y verticales de facies.

Cronológicamente, casi todas las formas descritas en el apartado II.4 han tenido una evolución desde el terciario reciente. Sin embargo, no debe olvidarse el papel primordial que desempeñan el sustrato y los sedimentos mesozoicos (apenas visibles en el sector estudiado) en el desarrollo y funcionamiento de las diversas formas topográficas.

En cuanto a la evolución del terciario, debe destacarse que se han reconocido sólo las series más modernas, correspondientes al techo de los afloramientos calizos (plioceno superior) y los depósitos infrayacentes, que configuran la mayor parte de la superficie (de edades comprendidas desde el vindoboniense al plioceno inferior). Sin embargo, se carecen de datos sobre el Terciario más antiguo.

Al tratar de correlacionar o extrapolar datos de otros puntos de la Llanura de San Juan, se revela la ausencia de sedimentos conocidos -aflorantes bajo las series pliocenas-, lo que ha llevado a otros autores, a inclinarse por su "no deposición, acogiéndose a la disminución de espesores en sentido S, en las estribaciones más meridionales de la Sierra de Altomira"⁴⁴.

Por lo general, los materiales terciarios ofrecen una disposición más o menos horizontal, aunque diversas formas (cuestas, ligeros buzamientos en el techo de las calizas pliocenas y cierta linealidad en algunas estructuras) ponen de manifiesto un claro control tectónico.

⁴⁴.- PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1981): Neógeno y cuaternario ... Opus cit, pág. 579.

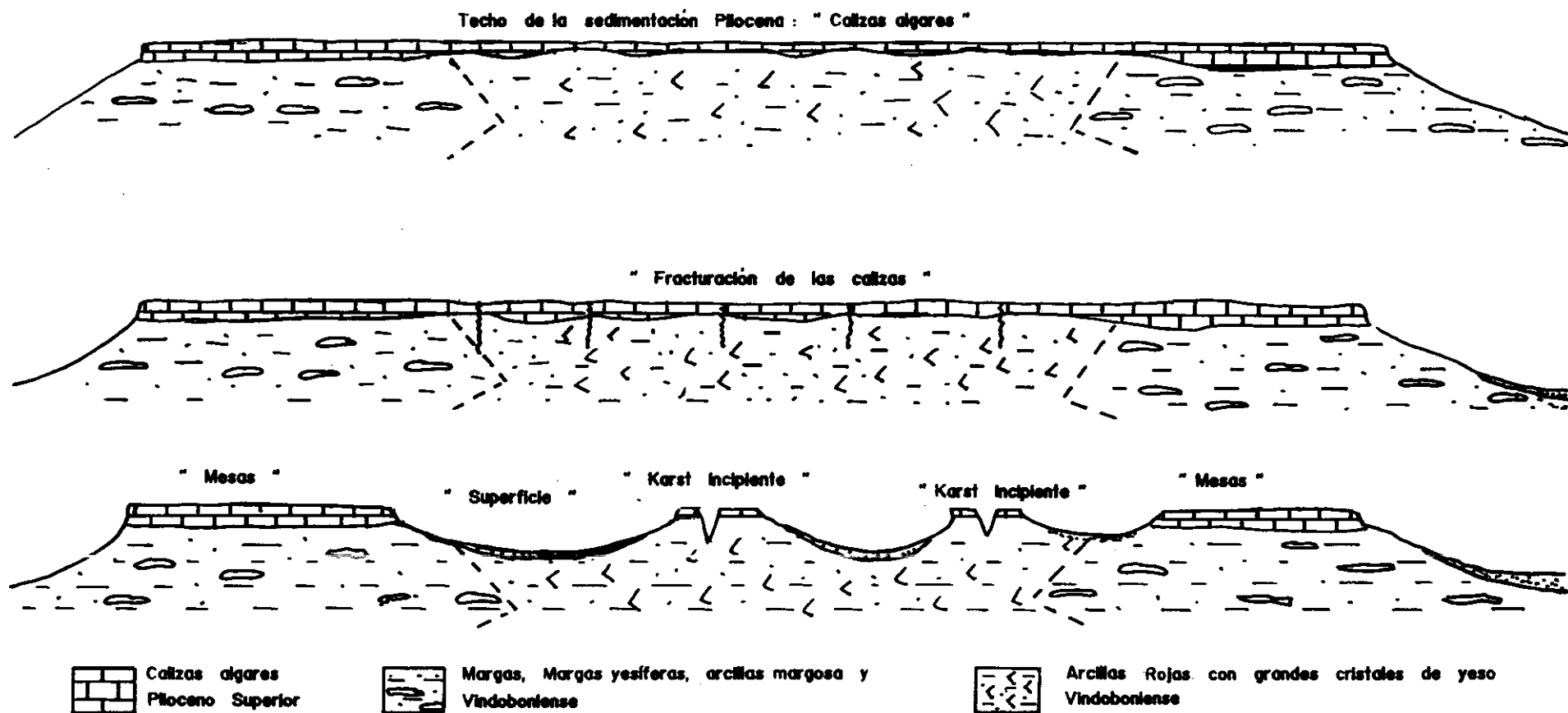


Fig.21 .- Evolución del relieve entre el S de Villacañas y el N de la laguna de Peña Hueca.

Partiendo de la premisa del condicionante tectónico en la ubicación y posterior desarrollo de las formas, la sedimentación terciaria da lugar a un conjunto litoestratigráfico mio-plioceno complejo, con cambios laterales de facies frecuentes. Pero, en general, las facies sedimentarias se corresponden a dos medios principales:

- Facies aluvial, característica del borde de cuenca o facies basal, litológicamente dominada por conglomerados cuarcíticos fuertemente ferruginizados y depositados en un ambiente sedimentario continental árido. Se localizan entre las lagunas de Peña Hueca y del Masegar y, al W de ésta, en el Cerro de las Olivas y Cerro del Guijo.

- Facies lacustre, en la que se depositan margas, arcillas y yesos principalmente, bajo un clima relativamente árido y en régimen endorreico. Finalmente el techo de la sedimentación pliocena se produjo bajo un régimen igualmente lacustre, depositándose los materiales carbonatados que van a coronar todas los relieves tabulares o "mesas".

En los 100 km² aquí estudiados dichos relieves se disponen de N a S, entre la red fluvial actual y los relieves paleozoicos. Las formas tabulares, conformadas en su techo por calizas algares, no presentan una superficie continua, sino que el paquete calizo debió tener menor espesor en su centro, siendo más vulnerable a los procesos de erosión y disolución. Por este motivo, el área central se presenta en retazos discontinuos y, además afectados por karstificación (ver mapa geomorfológico 3-3 y fig. 21). PÉREZ GONZÁLEZ (1981) atribuye al final de la sedimentación pliocena una nueva etapa de movimientos tectónicos (fase Iberomanchega II), la cual deformó suavemente los materiales recién depositados. Aquí, más que deformar las calizas culminantes, sí debió fracturar ligeramente aquéllas más susceptibles, es decir, las que tenían menor espesor. A partir de esta fracturación y, seguramente reaprovechando la antigua red pliocena, debieron irse desarrollando los procesos de karstificación que dan lugar a dolinas sólo en estos retazos calcáreos, y no allí donde el paquete calizo alcanza espesores mayores, como es el caso del relieve tabular que limita por el N a la laguna de Peña Hueca y por el W a la laguna del Taray.

Al menos en este sector manchego la evolución cuaternaria presenta unas características que son contrarias a la evolución más común del centro peninsular español.

Desde el techo de la sedimentación terciaria la red fluvial cuaternaria presenta una escasa incisión, del orden de 30 m. Esta falta de incisión, como se ha apuntado más arriba, debe achacarse a una tendencia a la no subsidencia (SANZ DONAIRE et al., 1994), más que a la falta de capacidad erosiva por parte de los ríos.

Una clara muestra de la falta de incidencia de la red fluvial es la ausencia de terrazas, y otros depósitos aluviales en las márgenes de los ríos Riánsares y Cigüela. Sólo el mencionado depósito al norte de la laguna del Taray (a unos 2 km al W de la margen derecha del río Riánsares) que, debido al dominio cuarcítico de sus depósitos y a su alta esfericidad, parecen sugerir que está en relación con una antigua red, probablemente de edad pliocena. Así, parece evidente que el trazado actual del Cigüela reaproveche el antiguo cauce fluvial del plioceno.

Por último, y pese a la relativa proximidad las higrocoras estudiadas, cada una de ellas presenta una génesis y evolución diferentes, resultando desde el punto de vista geomorfológico un conjunto de gran diversidad.

La laguna Larga de Villacañas tiene un origen estructural, por la presencia de una falla, probablemente de orden regional, pues la laguna está alineada longitudinalmente, por el N, con las lagunas de Lillo, del Altillo y la laguna de la Albardiosa y, por el S, con las lagunas del Taray y lagunas de Villafranca. En esta misma alineación N-S está también el conjunto de dolinas desarrolladas entre la Laguna Larga de Villacañas y la laguna del Taray. Por ello, seguramente ambas lagunas se generaron a partir de los antiguos cauces pliocenos arriba mencionados que se labrarían por el área más deprimida: la falla.

Si ésta fue la génesis, la funcionalidad hídrica actual no deja de ser menos compleja, y aunque este aspecto se tratará en el capítulo IV aquí se adelantan las entradas de agua a la laguna. A los indudables aportes pluviales y antrópicos (aguas residuales del pueblo de Villacañas) a la laguna deben sumarse, al menos, los aportes de aguas subsuperficiales (quizás también subterráneas) procedentes de la cuenca del río Riánsares. Estas aguas llegan a la laguna gracias a que los sedimentos triásicos (impermeables), localizados varios metros por debajo del cauce del río Riánsares, afloran al S de la laguna Larga.

La laguna Chica de Villacañas, situada al NE de la anterior, muy próxima a ella parece estar ligada también a la antigua red fluvial, pero esta laguna tuvo un evolución diferente. Probablemente separada con anterioridad del cauce fluvial, a modo de un pequeño meandro, y bajo condiciones áridas o semiáridas, se fueron generando los sedimentos evaporíticos que conforman parte de la laguna. A su vez, la presencia de yesos masivos dan lugar a procesos pseudokársticos (disolución y ligera subsidencia) que van configurando un área más deprimida (el fondo de la laguna) y el redondeamiento de sus márgenes, hasta alcanzar la forma redondeada actual.

Las lagunas del Taray y del Masegar, localizadas en la llanura aluvial de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, deben su génesis y posterior evolución a la acción combinada de los agentes fluviales y pseudokársticos. Los sedimentos fluviales localizados al N de la laguna del Taray parecen indicar, como se ha comentado más arriba, que los agentes fluviales actuales están sólo retomando la antigua red pliocena. La extensa llanura de inundación actual vendría explicada por la falta de incidencia de la red fluvial cuaternaria, de lechos anastomosados, que se han ido desplazando hacia el E hasta alcanzar el curso actual del río Cigüela.

Sin embargo, la presencia de sendas lagunas no podría explicarse si no fueran acompañadas de procesos pseudokársticos. Estos, han ido configurando las numerosísimas torcas que, al menos en años anteriores han tenido un importante papel en los regímenes hídricos de las lagunas. En éstas, tampoco deben olvidarse las múltiples modificaciones antrópicas realizadas para obtener mayores niveles de agua; obras que serán imprescindible conocer para entender la funcionalidad de las lagunas.

Por último, la laguna de Peña Hueca, localizada en el centro de una cuenca (ver mapa geomorfológico 3-4), parece tener un origen puramente endorreico originada en facies lacustre, en la que, al igual que en la laguna Chica de Villacañas, las condiciones xéricas facilitaron la creación de materiales evaporíticos. Sin embargo, como en las higrocoras anteriores un sólo factor no suele dar lugar a la formación de humedales, sino que generalmente necesita la acción de otros agentes. En la génesis y funcionalidad posterior de la laguna de Peña Hueca también desempeñan un papel relevante los procesos kársticos y pseudokársticos, actuantes en las carboníferas jurásicas y en los yesos neógenos respectivamente.

CAPÍTULO III

SUELOS

III.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo trata de estudiar algunos suelos del sureste de la provincia de Toledo, incluidos en los términos municipales de Villacañas y Quero. Todos ellos son suelos no agrícolas y forman parte de los bordes de cuatro de las higrocoras analizadas en el capítulo II y que como se vio tienen diferentes orígenes. Así, las higrocoras elegidas son: laguna del Masegar, localizada en la llanura de inundación de la confluencia de los ríos Cigüela y Riánsares, hoy exenta de aportes fluviales por excavaciones en los cauces; las dos lagunas de Villacañas: Larga y Chica, originadas a partir de antiguos cursos fluviales, y la laguna endorreica de Peña Hueca.

Pese a no formar parte de los suelos agrícolas, debido a su proximidad, frecuencia de regadíos y predominio al endorreísmo, no se descartan contaminaciones de los suelos por fertilizantes y/o pesticidas. A su vez, los suelos localizados en las lagunas del pueblo de Villacañas pueden verse afectados por los vertidos, sin depurar, de las aguas residuales, pues son frecuentes los desbordamientos de la lamina de agua del vaso lagunar, cuando al continuo vertido de dichas aguas a la laguna se unen precipitaciones relativamente más elevadas a las normales, (como por ejemplo noviembre de 1989).

Toda el área se caracteriza por un clima semiárido, con precipitaciones anuales que no alcanzan los 450 mm, como se vio en el capítulo I. Presenta, además, un déficit hídrico bastante acusado especialmente en verano, que repercutirá en el ascenso del agua capilar, favoreciendo el transporte y movilización de los distintos componentes del suelo.

Los suelos estudiados tienen en común una topografía prácticamente horizontal (con pendientes $< 1-2\%$) y una fuerte vinculación con el material geológico que le sirve de sustrato. Estos, aunque de diversa índole, como se trató en el apartado II.2.1, son continentales, con abundancia de carbonatos, yesos y sales más solubles, como cloruros y sulfatos que se mueven por los distintos horizontes del suelo con facilidad bajo un clima de elevada evapotranspiración.

Bajo estos condicionantes climáticos y edáficos, la vegetación existente sobre estos suelos, tiene un marcado carácter halófilo o gipsófilo en unos casos e higrófilo en otros, según la cantidad de sales, o grado de humedad y/o encharcamiento a que se vean expuestos.

Entre los estudios precedentes de suelos manchegos se destacan los de la "Región de Ocaña" de GUMUZZIO (1979), los referidos a suelos salinos del NW de Toledo de ASTURDILLO, BATLLE, CASAS, GUERRA, GUMUZZIO, JIMÉNEZ, MORENO y POLO (1981, 1982, 1983 y 1986); los que puntualizan el *carácter sálico* de los suelos de El Pedernoso (SW de Cuenca) de ALIAS y SÁNCHEZ (1983).

PORTA, LÓPEZ-ACEVO y ROQUERO, analizan los *gypsiorthids* de las llanuras aluviales de los ríos Cigüela y Záncara en Toledo y Ciudad Real (términos municipales de Quero, TO y Herencia, C.R.). Otros, *gypsiorthids* han sido estudiados por BENAYAS, GUERRA, BATLLE Y GUMUZZIO (1988) en la provincia de Cuenca, sector Mota del Cuervo-Las Mesas-El Pedernoso. Sobre el *carácter hidromorfo* de los suelos manchegos han trabajado DORRONSORO, ALONSO y RODRÍGUEZ REBOLLO (1988), incidiendo en sus rasgos micromorfológicos. Estos aspectos, también han sido analizados en la llanura aluvial del Cigüela, en concreto, la laguna del Masegar (TO) por SANZ DONAIRE y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA (1993).

Otros trabajos se refieren a estudios sedimentológicos en suelos de numerosas salmueras de la Mancha Húmeda (Laguna de Los Pájaros, C.R.; Quero, TO; Peña Hueca, TO, etc.) llevados a cabo por CARENAS, GARCÍA PALACIOS, MARFIL Y PEÑA (1977 y 1982), aunque falta la clasificación edafológica de los mismos.

Por último, entre los numerosos estudios sobre la fertilidad de los suelos manchegos sólo se destacan aquí la obra de CARLEVARIS, HORRA y RODRÍGUEZ (1992), por abarcar una extensa área de la provincia de Ciudad Real (La Mancha-Campo de Montiel) con buena cartografía y tratar, además, los suelos no agrícolas de las márgenes de los ríos Záncara, Cigüela y Guadiana, y bordes lagunares, incluyendo una buena parte de las higrocoras de esta provincia.

En el presente capítulo, se ha realizado una descripción y análisis detallado de algunos suelos que bordean las lagunas mencionadas del sector Villacañas-Tramo medio del Río Cigüela. Posteriormente se han definido estos suelos atendiendo a las clasificaciones europea (FAO) y americana (ST). Aunque pertenecientes a grupos diferentes se han buscado rasgos edáficos comunes en los suelos que bordean las higrocoras.

El estudio detallado de los suelos tiene la doble finalidad de conocer la variedad edafológica sobre la que se asientan o bordean las lagunas y, el de poder determinar y extrapolar los resultados obtenidos en las pruebas de redox, descomposición de las tiras de algodón, porcentajes de nitrógeno total, fósforo asimilable, etc., -que se utilizarán como medidas indirectas de la dinámica de nutrientes en las cuatro higrocoras manchegas estudiadas.

III.2. METODOLOGÍA

Los métodos analíticos empleados han sido los siguientes:

Los *carbonatos*: método gasométrico con el calcímetro de BERNARD, previamente calibrado con CO_2HNa .

La *conductividad eléctrica* (C.E): medida con el conductímetro CDTM 523 de Crison en una relación suelo/agua 1:2,5. Al resultado obtenido se le aplica el factor corrección de la temperatura para expresarlo como C.E. a 25°C.

El *fósforo*: determinación colorimétrica por medio del cloruro estannoso. Los resultados vienen expresados en mg de P_2O_5 por 100 ml.⁴⁵

La *materia orgánica* (M.O.): por el método de Walkey y Black sin calentamiento.

El *nitrógeno total*: por el método de KJELDAHL, basado en la combustión de la sustancia orgánica, la reducción del nitrógeno a amoníaco y su consecuente destilación en un ácido valorado (H_2SO_4 de 0,02 N)⁴⁶.

El *pH*: medido con el pH-metro 506 (electrodo combinado) de Crison en el sobrenadante de una suspensión formada por una mezcla sólido-líquido (suelo-agua) 1:2,5.

Las *texturas*: método internacional de análisis mecánico por medio de la pipeta de Robinson con destrucción de la materia orgánica y dispersión con hexametáfosfato sódico y carbonato sódico para los suelos sin yesos o con muy poca proporción (perfiles 2 y parte del 3). En caso contrario (perfiles 1, 4 y parte del 3), no se destruyen los carbonatos ni la materia orgánica para evitar que floculen las arcillas; se utiliza como dispersante cloruro de bario según el método de HESSEN (1976).

Se destaca, que en los suelos aquí analizados hemos realizado los dos métodos y comparado los resultados finales. Ante el elevado porcentaje de carbonatos en todos ellos, se prefiere el segundo método, incluso en las muestras sin yesos (perfil 2 y parte del 3).

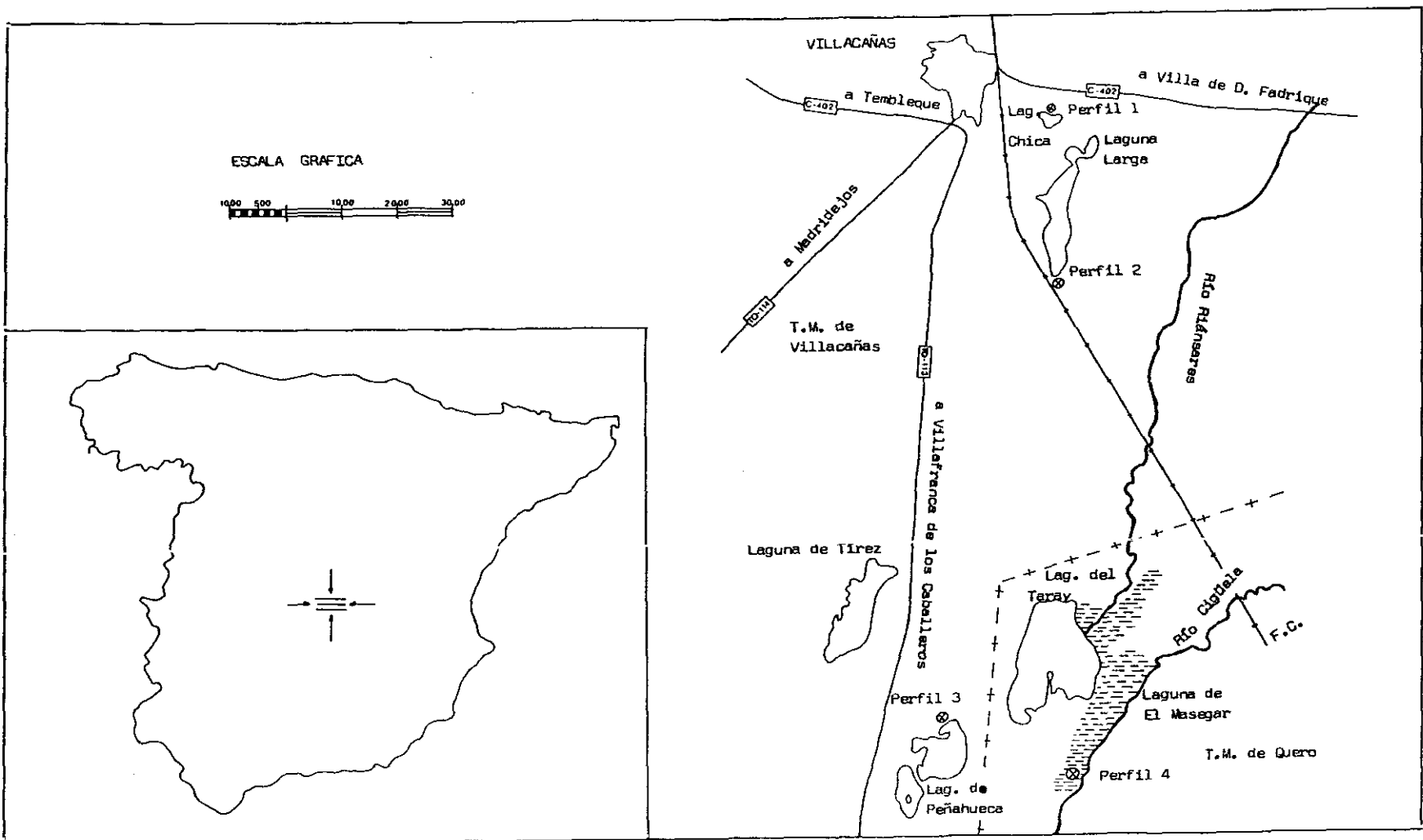
El *yesso*: se disuelve agitando la muestra con agua, y luego se precipita selectivamente añadiendo acetona al extracto. Se mide la conductividad eléctrica y el resultado se transforma en porcentaje de CaSO_4 según la curva estándar elaborada a partir de "La Tablas Críticas Internacionales"⁴⁷.

⁴⁵.- KAÚRICHEV I.S. (1984): *Prácticas de edafología*. Ed. Mir Moscú. Pág.148.

⁴⁶.- KAÚRICHEV I.S. (1984): *Prácticas de* Opus cit. Pág.137.

⁴⁷.- VVAA (1973): *Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimiento para coger muestras*. Ed. Trillas. Méjico. Pág.54.

Fig. 22.- Localización de los perfiles estudiados.



III.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES DE LOS SUELOS

III.3.1. Perfil nº1: Villacañas Chica

- Fecha de la descripción: 12 de julio de 1989
- Coordenadas Geográficas: 0°21'31''(E de Madrid), 39°37'80''(N).
- Coordenadas UTM: X= 43-85-6; Y= 4-72-6.
- Uso actual: Pastos y vertedero de escombros.
- Altitud: 660 m.
- Pendiente: nula, superficies horizontales.
- Relieve: plano y sin vertientes.
- Microrrelieve: plano con diferencias de altitud sólo decimétricas.
- Erosión: no se observa.
- Drenaje: deficiente, área con tendencia a ser encharcada.
- Profundidad de la capa freática: -72 cm.
- Pedregosidad: no se observa, inexistencia de bloques y piedras.
- Roccosidad: en las afloraciones cercanas existen canteras de yesos que han sido explotadas anteriormente.
- Vegetación: comunidades de albardín (*Lygeum spartum*) y *Limonium sp* en los altozanos y próximo al borde lagunar; Salicornias y Suaedas en áreas frecuentemente inundadas por la laguna.
- Posición fisiográfica: ribera de la laguna Chica de Villacañas, también llamada Gramosa o laguna de La Estación; a 1 m de altitud respecto al vaso lagunar. Superficie recubierta por una delgada capa de yeso casi continua. Dicha laguna es de aguas salobres, sulfatadas, muy duras y no contaminadas.

- Observaciones:

1) La capa freática ha oscilado entre febrero de 1989 y febrero de 1991 de -2 m (septiembre de 1989 y de 1990) a 0 cm (diciembre de 1989).

2) El rH^{48} se mantuvo con valores inferiores a 19 durante los tres inviernos muestreados y con frecuencia este período se extiende desde noviembre hasta marzo, medidos en una profundidad de 50 cm.

⁴⁸.- El rH se obtiene según la FAO (1989) mediante la fórmula siguiente:
 $rH = Eh (mV)/29 + 2 pH$, y el valor resultante se utiliza para conocer si un suelo muestra propiedades gléicas. Los procesos de reducción en el suelo se ponen de manifiesto si el valor de rH es ≤ 19 .

Descripción Morfológica

Horizontes

Nombre⁴⁹ Profundidad

	0-0,5 cm	No es realmente un horizonte, sino una delgada capa o costra estacional y discontinua. Blanco (2,5Y 8/1; gris claro) en húmedo. Franco arenoso; estructura granular, sin materia orgánica ni enraizamiento. Reacción al clorhídrico audible y con grandes pompas formadas de pequeños cristales, que aparentemente son eflorescencias salinas. Límite con el horizonte inferior es neto y de forma irregular, hasta interrumpida. pH al agua de 8,1 y conductividad eléctrica (C.E.) >20 mS/cm.
Az1	0,5-2 cm	Negro (2,5Y 2/1) en húmedo y 10YR 3/1 en seco. Estructura granular, franco arenoso, materia orgánica de enraizamiento, con muchas raíces muertas, aparentemente bien mezcladas con la materia inorgánica; calcáreo, eflorescencias claramente visibles; límite neto y de forma ondulada. pH al agua de 7,8 y C.E. > 20 mS/cm.
Ay1	2-8 cm	Decolorado, 10R 6/3 (amarillento apagado) en húmedo; franco arenoso, estructura unitaria (cristales de yeso), sin agregados, presencia de raíces muertas, especialmente finas. Reacción al clorhídrico: audible y visible con grandes pompas, > 10% calcáreo; pH al agua de 7,8 y C.E. de 3,8 mS/cm.
Ay2	8-20 cm	10YR 5/3 (pardo amarillento apagado) en húmedo. Franco arenoso muy fino, unitariamente angular; presenta un moteado de cristales de sal; nivel máximo de enraizamiento, principalmente de albardín (<i>Lygeum spartum</i>) y de <i>Limonium sp.</i> , con muchos microporos, en su mayor parte ligados a raíces; muchas raíces en descomposición. Contacto con el horizonte inferior gradual y de forma suave. Reacción al clorhídrico fuerte, visible y con grandes pompas (carbonatos >10%); pH al agua de 7,9 y C.E. de 1,9 mS/cm.
Ay3	20-45cm	10YR 5/3 en húmedo. Franco arenoso muy fino; unitaria angular. Presenta abundante moteado por la elevada cantidad de sales presentes. Abundantes raíces, muchas muertas y en descomposición. Límite irregular y difuso.

⁴⁹.- Denominación de los horizontes según las normas de la FAO (1989). No obstante, se incluyen en las descripciones la delgada capa estacional de la superficie (S_A) según las normas del ST (1975) por ser muy representativas de los suelos manchegos.

Cy > 45 cm 10YR 7/6 (pardo amarillento claro) y 10YR 6/2 (pardo amarillento grisáceo) ambos en húmedo. 10RY 4/1 en seco. Color no uniforme. Entre el color pardo se distinguen cristales de yeso y otras sales. Franco arenosa; manchas de 2-3 mm de tamaño, de bordes nítidos y contrastados; algunas raíces; reacción al ClH audible, visible con grandes pompas, > 10% de carbonatos; pH al agua 7,6 y C.E. 1,2 mS/cm.

Datos Analíticos

	Ay2	Ay3	Cy
Arenas gruesas, medias y finas (% de 2 a 0,05 mm.)	69,1	75,4	74,0
Arenas muy finas (% de 0,05 a 0,02 mm)	3,4	0,1	1,4
Limo (% de 0,02 a 0,002 mm)	12,0	8,4	8,6
Arcilla (% < 0,002 mm)	15,5	16,2	16,0
pH	8,3	8,1	8,2
C.E. (mS/cm)	3,7	2,3	2,3
CO ₃ Ca (%)	39,2	28,0	26,3
Materia orgánica (%)	3,2	0,9	0,5
Yeso (%)	17,3	24,5	19,8

Los horizontes de diagnóstico son :

- 1.- *Ócrico*, para los horizontes genéticos A;
- 2.- *Gípsico*, para el horizonte Ay3 (tiene un 5% más de yeso que el horizonte Cy subyacente y el producto del porcentaje de yeso -24,5- y el espesor del horizonte -15 cm-es 368; > 150).

Las propiedades de diagnóstico son:

- 1.-*Calcárico*: debido a que los materiales edáficos presentan una fuerte efervescencia al clorhídrico (> 10%) en la profundidad de 20 a 50 cm.
- 2.-*Gipsífero*: porque todos los horizontes tienen más del 5% de yeso.

Clasificación: Cambic Gypsiorthid (ST, 1975), Gypsisol háptico (FAO, 1988).

III.3.2. Perfil nº2: Villacañas Larga

- Fecha de la descripción: 12 de julio de 1989
- Coordenadas Geográficas: 0°21'41''(E de Madrid), 39°37'20''(N).
- Coordenadas UTM: X= 43-82-6; Y= 4-72-8.
- Uso actual: Pastos y baldío.
- Altitud: 660 m.
- Pendiente: nula.
- Relieve: plano, sin vertientes.
- Microrrelieve: a unos 40-60 cm del borde de la laguna Larga de Villacañas (Toledo).
- Erosión: no se observa.
- Drenaje: área con tendencia a ser encharcada totalmente; máximo advertido en enero de 1990, con + 25/40 cm de agua. En el momento de la descripción no se observa encharcamiento, aunque puede haber llovido de manera tormentosa hace 15 días. Una hora después de abrir la zanja para la descripción del perfil hay unos 2 cm de agua a 70 cm de profundidad desde la superficie.
- Profundidad de la capa freática: -55,5 cm.
- Pedregosidad y rocosidad: ausencia de bloques o piedras y de afloramientos rocosos. Afloran arcillas rojas con pequeños cristales de sales. Localmente algún canto de caliza, gravilla o sílex.
- Vegetación: *Schoenus nigricans*.
- Posición fisiográfica: ribera S de la laguna Larga de Villacañas; en momentos ocasionalmente inundada por la extensión de la laguna, pasa a formar parte de ella (alimentación artificial de la laguna, por aguas residuales del pueblo de Villacañas). La laguna Larga de Villacañas es de aguas salobres, sulfatadas, muy duras y presenta contaminación orgánica.
- Observaciones:
 - 1) La capa freática ha oscilado entre enero de 1989 y enero de 1991 de -67 cm (agosto de 1989) a 0 cm (diciembre de 1989); de enero a julio de 1990 el suelo estuvo bajo 25-40 cm de agua por desbordamiento de la laguna de Villacañas Larga.
 - 2) El rH se mantuvo en 1989 con valores inferiores a 19 durante 7 meses (de marzo a octubre), medidos en una profundidad de 50 cm.

Descripción Morfológica

Horizontes

Nombre	Profundidad
--------	-------------

0-0,5 cm	7,5YR 8/1 (gris suave, claro) en húmedo. Arenosa; unitaria-granular muy fina, sin materia orgánica, reacción al clorhídrico > 10%, muy calcáreo y con grandes pompas; no es realmente un horizonte, sino eflorescencias salinas de sabor amargo. Límite con
----------	---

el horizonte inferior neto (< 5 mm); pH al agua 8,5 y C.E. > 20 mS/cm.

Az1	0,5-2 cm	2,5YR 4/2 en seco y 7,5R 2/1 en húmedo (negro rojizo). Granular; textura arcillosa. Reacción fuerte al clorhídrico, grandes pompas, % de carbonatos >10; pH al agua 7,3 y C.E. > 20 mS/cm.
Cz	> 2 cm	2,5 YR 4/4 en seco y 10R 3/4 en húmedo. Estructura granular, textura arcillosa. Reacción fuerte al clorhídrico, con grandes pompas, % de carbonatos >10. Presenta un moteado blanco (3%) por sales y/o carbonatos, hasta 2 mm netamente diferenciados. Localmente hay un 1% de gravillas de cuarzo; pH al agua 7,6 y C.E. 7,93 mS/cm.

Datos Analíticos

	Az	Cz
Arenas (% de 2 a 0,05 mm)	37,8	28,9
Arenas muy finas (% de 0,05 a 0,02 mm)	3,6	2,6
Limo (% de 0,02 a 0,002 mm)	20,5	21,0
Arcilla (% < 0,002 mm)	38,0	47,5
pH	8,0	8,0
C.E. (mS/cm)	4,5	5,3
CO ₃ Ca (%)	18,7	21,2
Materia orgánica (%)	1,4	0,7
Yeso (%)	0,1	0,2

Los horizontes de diagnóstico son :

- 1.- *Ócrico*, para el horizonte genético A, debido a su pequeño espesor (1,5 cm);

Las propiedades de diagnóstico son:

- 1.- *Calcárico*: debido a que los materiales edáficos presentan una fuerte efervescencia al clorhídrico (>10%) en la profundidad de 20 a 50 cm y, lo confirman los datos de laboratorio.
- 2.- *Gléica*: presenta un pH inferior o igual a 19 de tres a cinco meses al año y nunca durante los meses de invierno.
- 3.- *Sálico*: ya que la conductividad eléctrica es superior a 4 dSm⁻¹ a 30 cm de la superficie del suelo y aumenta ligeramente con la profundidad.

Clasificación: Typic salorthid (ST, 1975), Solonchak gléico (FAO, 1988).

III.3.3. Perfil nº3: Peña Hueca

- Fecha de la descripción: 12 de julio de 1989
- Coordenadas Geográficas: 0°21'11''(E de Madrid), 39°32'40''(N).
- Coordenadas UTM: X= 43-74-8; Y= 4-70-9
- Uso actual: Pastos y baldío.
- Altitud: 650 m.
- Pendiente: escasa.
- Relieve: plano y sin vertientes.
- Microrrelieve: ladera de una pequeña vaguada que desagua en la laguna con una pendiente de 3-4%; a una altura respecto al vaso lagunar de 50 cm.
- Erosión: un ligero tapizado del horizonte Az por un horizonte posterior. Con poca intensidad, muy reciente, de movimiento de ladera y discontinuo.
- Afloramientos y rocosidad: no se observan.
- Drenaje: escaso, no se observa encharcamiento, aún cuando puede haber llovido dos semanas atrás.
- Profundidad de la capa freática: -53 cm.
- Vegetación: albardín (*Lygeum spartum*) y *Limonium sp.* en los altozanos y *Schoenus nigricans*, salicornias y juncos en la ribera inundable de la laguna.
- Posición fisiográfica: borde de la laguna de Peña Hueca (Toledo), a unos 30 cm de altura del borde lagunar, sin vertientes. Peña Hueca es una salmuera de aguas no contaminadas, aunque las aguas de pozos muy próximos son dulces o moderadamente salobres.
- Observaciones:
 - 1) la capa freática ha oscilado entre marzo de 1989 y febrero de 1991 de -28 cm (diciembre de 1989) a -140 cm (agosto de 1990).
 - 2) El rH solamente presenta valores inferiores a 19 algún mes aislado a 20-50 cm ó 10-20 cm desde la superficie; de los 24 meses muestreados sólo agosto de 1989 mantuvo esta reducción hasta 80 cm de profundidad.

Descripción Morfológica

Horizontes

Nombre	Profundidad
--------	-------------

0-0,6 cm	No es realmente un horizonte, sino una pequeña capa salina de 0-0,5 cm. Pulverulenta, unitaria (localmente aparece un horizonte color ocre que sepulta el horizonte húmico al que se le adjudica una labor de erosión de ladera (0-3 cm). Reacción al clorhídrico audible y con grandes pompas formadas de pequeños cristales, que aparentemente son eflorescencias salinas; pH al agua de 8,7 y C.E. > 20 mS/cm.
----------	---

- Az 0,6-2 cm 5YR 5/2 (pardo grisáceo) en húmedo y 10YR 5/2 en seco. Localmente los estolones en descomposición del albardín (*Lygeum spartum*) le confieren un color más negruzco. Arenosa; unitaria; con mala mezcla de materia orgánica; reacción fuerte al clorhídrico, visible, audible y con grandes pompas (>10% de carbonatos). Contacto neto con bolsones relativamente someros y ondulado con el horizonte inferior. pH al agua 7,5 y C.E. 10,3 mS/cm.
- C1 2-20 cm Listado con coloraciones claro oscuras: 7,5 YR 7/6 (naranja) y 1,5 YR 6/3 (pardo apagado) ambos en húmedo, y 10YR 5/2 (pardo amarillento grisáceo) en seco. Parece ser la sucesión del enterramiento de diferentes secuencias del horizonte Abz por la erosión en la pequeña ladera. Textura arenosa, estructura unitaria, poca abundancia de raíces, es el nivel de enraizamiento del albardín y del *Limonium sp.* . Ligeramente calcáreo (1-2 %), por moderadamente audible y apenas visible. Límite claro (25-60 cm) y suave; pH al agua 7,7 y C.E. 1,9 mS/cm.
- 2Bbt 20-30 cm 2,5 YR 5/6 (pardo rojizo claro) en húmedo y 7,5 YR 6/2 en seco al que se le une un moteado de cristales (sales) en un 7%. Arcillosa y granular (por los cristales). Reacción moderadamente audible (1-2%); límite gradual y de forma ondulada; pH al agua 7,3 y C.E. 4,3 mS/cm.
- 2Cb > 30 cm 5YR 7/6 (naranja) en húmedo. Textura franco-arenosa; estructura unitaria. Reacción audible, muy ligeramente calcáreo (0,5-1). Presencia de cristales de yeso en un 40-50% (blanco por las sales de yeso): pH al agua 7,2 y C.E. 2,3 mS/cm.

Datos Analíticos

	Az	C1	Bbt	Cb
Arenas gruesas, medias y finas (% de 2 a 0,05 mm.)	66,0	78,6	69,1	66,3
Arenas finas (% de 0,05 a 0,02 mm)	6,4	4,9	2,4	2,1
Limo (% de 0,02 a 0,002 mm)	10,7	3,8	7,0	15,3
Arcilla (% < 0,002 mm)	16,9	12,7	21,5	16,3
pH	8,5	8,0	7,6	8,0
C.E. (mS/cm)	8,7	3,6	2,6	2,4
CO ₃ Ca (%)	12,4	36,0	33,2	32,2
Materia orgánica (%)	1,6	0,3	0,2	0,2
Yeso (%)	18,9	10,3	0,1	6,0

Los horizontes de diagnóstico son :

- 1.- *Ócrico*, para los horizontes genéticos A, por el poco espesor (1,4 cm);

Las propiedades de diagnóstico son:

- 1.- *Calcáreo*: debido a que los materiales edáficos presentan una fuerte efervescencia con HCl (> 10%).
- 2.- *Gipsífero* en los horizontes Az y C (> 5% yeso).

Clasificación: Se describe una sucesión de suelos:

- Uno, el superior, Regosol calcárico (FAO, 1988); typic Xerorthent (ST, 1975); con los horizontes Az y C1;
- Otro, el inferior, Luvisol crómico (FAO, 1988), typic Haploxeralf (ST, 1975); con los horizontes Bbt y Cb.

III.3.4. Perfil nº4: **Laguna del Masegar**

- Fecha de la descripción: 12 de julio de 1989
- Coordenadas Geográficas: 3°18'(W de Greenwich), 39°31'(N).
- Coordenadas UTM: X= 43-73-9; Y= 4-73-2.
- Uso actual: Centro de recuperación de aves acuáticas, propiedad de la Fundación "José María Blanc". Baldío, sin explotación ni usos del suelo.
- Altitud: 659 m.
- Pendiente: nula, superficies horizontales.
- Relieve: llanura de inundación del Río Cigüela.
- Microrrelieve: plano y en torno a 10 m del canal sobrexcaado del Río Cigüela.
- Erosión: sin erosión ni depósitos.
- Drenaje: área encharcada estacionalmente, por lo general, desde diciembre a mayo. Sufré variaciones anuales en función de las precipitaciones y principalmente por los intereses humanos (gestión antrópica del agua de la laguna).
- Profundidad de la capa freática: -47,2 cm.
- Pedregosidad: no se observa en la llanura de inundación. En los relieves destacados próximos aparecen un gran número de conglomerados cuarcíticos, junto con algunos cantos de sílex.
- Rocidad: el sustrato está compuesto por grandes cristales de yeso que se encuentran aproximadamente a los 2-3 m de profundidad.
- Vegetación: masiega (*Cladium mariscus*) y rodales de carrizo (*Phragmites australis*) y de *Schoenus nigricans*. En los diques de contención próximos aparecen repoblaciones de tarayes (*Tamarix sp.*) y cañas (*Arundo donax* y *Typha sp.*).
- Posición fisiográfica: parte de la llanura de inundación del Cigüela, excavada para el recrecimiento del dique de contención, que permite crear una laguna artificial y mantener en ella una lámina de agua durante un mayor número de meses.

- Condiciones pluviométricas actuales: cerca de dos semanas sin llover. Sin embargo, están abriendo las compuertas aguas arriba (unos 100 m) para facilitar la salida del agua de la laguna, lo que permite una mayor movilidad del agua.

- Observaciones:

1) La capa freática ha oscilado entre enero de 1989 y enero de 1991 de -120 cm (noviembre de 1990) a -20 cm (enero de 1990).

2) El rH o Eh (mV) /29 + 2 pH se mantuvo durante 20 meses de los 24 muestreados inferior a 19 en los niveles de -50 cm y -100 cm desde la superficie del suelo. La reducción fue mayor durante 1989, pues de abril a septiembre también afectó a los horizontes superficiales (de -5 a -20 cm).

Descripción Morfológica

Horizontes

Nombre Profundidad

Ahk	0 a 18 cm	10YR 6/2 (pardo amarillento grisáceo) en seco y 10 YR 3/3 (marrón oscuro) en húmedo. De textura franca, estructura en bloque, con una buena distribución de la materia orgánica y una gran cantidad de raíces vivas y muertas -la mayor parte de masiega, a modo de gruesos tallos- las raíces son muy gruesas (> 50 mm), fibrosas y con una abundancia superior al 5%; sin pedregosidad; de un 20-40% de manchas blanquecinas, de material pulverulento, irregulares y de tamaño milimétrico. Agregados estables con un grado de desarrollo evidente en suelo desarrollado, cohesivo y ligeramente adhesivo. No está cementado y es moderadamente plástico. Muy calcáreo (> 10%) con una reacción al clorhídrico a modo de grandes pompas. El límite con el horizonte inferior es abrupto y de forma suave. pH al agua 7,8 y C.E. 2,9 mS/cm.
Ayk	18 a 33 cm	2,5 Y 8/2 (gris claro) en seco y 10YR 5/3 en húmedo (pardo amarillento apagado). Estructura subangular y textura franca, con grandes manchas de varios milímetros, blancas pulverulentas, que dan reacción al ClH. Se observan, también, manchas de color ocre en torno a las raíces; gran cantidad de raíces muertas, frecuentemente fibrosas. La materia orgánica se encuentra rellenando los canales de las antiguas raíces y por algunos poros está mal distribuida. Mínima estabilidad de los agregados, pero con un gran desarrollo. Es ligeramente adhesivo y la cohesión es muy débil. No está cementado;

ligeramente plástico. El contenido de CO_3Ca es $>10\%$. El límite es abrupto y de forma ondulada. El pH es 7,6.

Cry 33 a 55 cm 2,5 Y 8/2 (gris claro) en seco y 10 YR 6/3 (dull yellow orange) en húmedo; textura franca y estructura subangular. Destacada reducción del porcentaje de manchas blancas por estar totalmente embebido en agua. Coloración oscura en torno a los poros; fuertemente reducido y con olor fétido. La reacción al ClH muy fuerte ($>10\% \text{CO}_3\text{Ca}$); pH de 7,3.

Los horizontes de diagnóstico son :

1.- *Móllico y Cállico*, para los horizontes genéticos Ahk y Ayk, pues el primero supera ampliamente el 5% más de carbonatos que el segundo y el producto del espesor por el porcentaje de carbonatos es 664, (superior a 150).

Las propiedades de diagnóstico son:

- 1.- *Gléicas*: presenta un rH inferior o igual a 19 de seis a diez meses al año.
- 2.- *Calcárico*: debido a que los materiales edáficos presentan una fuerte efervescencia al clorhídrico ($>10\%$) en la profundidad de 20 a 50 cm.
- 3.- *Gipsífero*: todo el perfil tiene valores de yeso superiores al 5%.

Datos Analíticos

	Ahk	Ayk	Cry
Arenas gruesas, medias y finas (% de 2 a 0,05 mm)	48,1	64,5	37,2
Arenas muy finas (% de 0,05 a 0,02 mm)	7,6	4,6	5,9
Limo (% de 0,02 a 0,002 mm)	15,8	13,7	39,0
Arcilla (% $< 0,002$ mm)	28,5	17,2	17,9
pH	8,1	7,6	7,9
C.E. (mS/cm)	2,9	1,8	2,0
CO_3Ca (%)	44,3	21,7	38,6
Materia orgánica (%)	5,0	0,9	1,1
Yeso (%)	14,3	21,7	22,4

Clasificación: Typic calciaquoll (ST, 1975), Gleysoi móllico (FAO, 1988).

Cuadro 12: Otros datos analíticos de los suelos de interés

Higrocora	Tipo suelo	Profundidad	N (%)				P ₂ O ₅ asimilable (mg/100g)			
			Prim.	Vera.	Otoñ.	Invie.	Prim.	Vera.	Otoñ.	Invie.
L.Chica Villaca.		< 15 cm	0,113	0,192	0,175	0,183	5	5	4	4,5
Gypsisol háplico		15-20 cm	0,072	0,116	0,070	0,170	3,5	3,5	2,0	4,0
		> 20 cm	0,042	0,096	0,049	0,143	3,5	2,5	1,0	3,0
L.Larga Villac.		< 15 cm	0,128	0,123	0,144	(*)	9	7,5	8,5	(*)
Solonchak gléico		15-20 cm	0,082	0,083	0,103	(*)	8,5	7,0	7,5	(*)
		> 20 cm	0,090	0,082	0,088	(*)	6,5	7,0	6,5	(*)
L. Larga Villac.		< 15 cm	0,081	0,100	0,087	(*)	16,0	13,5	14,5	(*)
Muro contención (Antrosol)		15-20 cm	0,045	0,072	0,068	(*)	16,0	13,0	13,5	(*)
		> 20 cm	0,044	0,098	0,080	(*)	11,5	14,0	13,5	(*)
L.Peña Hueca		< 15 cm	0,051	0,047	0,051	0,047	5,5	2,5	2,5	2,0
Regosol/		15-20 cm	0,050	0,039	0,024	0,046	6,5	5,0	2,5	3,0
Luvisol		> 20 cm	0,072	0,032	0,040	0,025	4,0	3,5	6,0	3,0
L. Masegar		< 15 cm	0,195	0,206	0,226	0,151	5,0	3,0	2,5	2,0
Gleysol móllico		15-20 cm	0,152	0,136	0,085	0,109	4,0	2,0	2,0	2,0
	A	> 20 cm	0,150	0,064	0,066	0,059	3,5	3,0	2,0	2,0
B		< 15 cm	(*)	0,402	0,397	(*)	(*)	3,0	2,5	(*)
		15-20 cm	(*)	0,084	0,063	(*)	(*)	2,0	2,0	(*)
		> 20 cm	(*)	0,084	0,092	(*)	(*)	2,5	2,0	(*)

(*) Imposibilidad de tomar muestras del suelo por estar inundado.

III.4. HORIZONTES, PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS SUELOS DESCRITOS.

De las descripciones anteriores, análisis de laboratorio y observaciones de campo se pueden describir una serie de características generales de los suelos que enmarcan las higrocoras del extremo suroriental de Toledo (sector Villacañas-tramo medio del Río Cigüela):

III.4.1. Grado de evolución

En general, son suelos poco evolucionados, donde no es frecuente la formación de horizontes minerales B o son muy delgados (unos 10 cm en el perfil N° 3 de la laguna de Peña Hueca).

III.4.2. Horizontes genéticos

Los suelos frecuentemente tienen (excepto el perfil N° 4) horizontes genéticos (A) ócricos con las siguientes características:

- muy delgados (< a 18 cm.),
- duros cuando se secan, por el descenso del nivel freático y la elevada evapotranspiración estival,
- colores blanquecinos y, en general demasiado claros debido a la presencia de yeso, carbonatos, sílice y sales de fácil disolución; así como, una ausencia casi total de materia orgánica⁵⁰ (de 0,2 a 0,9%), o una reducción notable de la misma a partir de los 8-10 cm superficiales del suelo por la presencia de carbonatos y yesos.

III.4.3. Horizontes subyacentes

En todos ellos el material original nunca es la roca continua endurecida (R), sino que no está consolidado (C) y, suele estar formado por acumulaciones de yesos, carbonatos y otras sales más solubles, o por margas yesíferas no cementadas.

III.4.4. Eflorescencias salinas

Las eflorescencias salinas son comunes durante el verano en la superficie de los suelos, a modo de películas blanquecinas de 1 a 6 mm, sin que afecte el tapiz a la totalidad del suelo (0-0,6 cm).

Esta generalidad, ya comentada por diversos autores (García Palacios et al., 1978), pone de manifiesto movimientos capilares ascendentes de aguas cargadas en sales (por una antigua meteorización de la roca y/o lavado de los horizontes inferiores) que llegan hasta la superficie. Esto viene favorecido, como se vio en el capítulo I, por un régimen estival árido, con altas temperaturas diurnas, escasas o nulas precipitaciones y fuerte evapotranspiración, de modo que afecta al agua superficial (lagunas, tablas o charcas) y subsuperficial, manteniendo las sales en la superficie del suelo de uno a tres meses al año. Según García Palacios *et al.* (1978), estas eflorescencias presentan una enorme riqueza en todo tipo de sales (yeso, bloedita, hexahidrita, halita, etc), debido a dos procesos de evaporación: -"uno, evaporación directa de la lámina de agua y que origina precipitación de arriba hacia abajo; otro, de evaporación capilar a través de los sedimentos y que origina una precipitación de abajo hacia arriba"⁵¹. Aunque estos fenómenos se han descrito en el área de estudio para salmueras como Peña Hueca o Tírez, las eflorescencias salinas también están presentes durante el verano con mayor o menor extensión y espesor en el suelo de los bordes lagunares arriba descritos.

III.4.5. Propiedades sálicas

Pese a estas eflorescencias salinas del verano, a que buena parte de las higrocoras manchegas se clasifican como salobres o salmueras y a valores muy elevados durante gran

⁵⁰. -PORTA, J.; LÓPEZ M.; ACEVEDO y C.ROQUEDO (1977): Estudio sobre los "Gypsiorthids" en España. An.INIA/Ser. General/n.5., Pág.95.

⁵¹. -GARCÍA PALACIOS, M.C.; MARFIL R. y PEÑA de la, J.A. (1978): Medio evaporítico continental: influencia de las salmueras sobre los sedimentos arcillosos. Tecniterrae N°23, pág 10.

parte del año de la conductividad eléctrica (C.E. > 20 mS/cm) en los horizontes superficiales del suelo (0-5 cm), no puede hablarse de propiedades edáficas sálicas más que en el perfil N° 2 del borde de la laguna Larga de Villacañas. Estos suelos son los únicos que mantienen valores superiores a 4 mS/cm⁵² en una profundidad de -30 cm con un pH claramente básico. Los suelos restantes experimentan una disminución progresiva de C.E. con la profundidad, por lo general, a partir de los 2-10 cm, reduciéndose a 1-3 mS/cm.

Los datos analíticos contrastan con las medidas efectuadas en campo (julio de 1989), en las que se obtienen valores muy altos de C.E. debido a la concentración de sales en superficie. Durante el estío y sólo en superficie (pátina blanca de 0 a 0,6 cm y horizontes A) la C.E. asciende por encima de 20 mS/cm.

Los suelos presentan en casi todos sus horizontes acumulación de sales, con frecuencia yesos (Ay y/o Cy) o sales más solubles que éstos (Az y/o Cz).

III.4.6. *Propiedades gipsíferas*

Los perfiles descritos, excepto el N°2, presentan propiedades de diagnóstico gipsíferas (>5% de yesos), con valores que oscilan de 6 a 24%. Sin embargo, como se observa en la figura 23, cada uno de ellos muestra una tendencia diferente del porcentaje de yeso respecto a la profundidad. Mientras en el perfil N°1 el valor máximo se advierte en el horizonte Ay3 (20-40 cm), en el perfil N°3 es mayor en superficie (Az y C1, de 0,6 a 20 cm) y, en el N°4 el yeso desciende paulatinamente con la profundidad. Así, sólo el perfil 1 tiene un horizonte gípsico.

III.4.7. *Propiedades calcáricas*

Los contenidos en carbonatos muestran valores elevados, tanto *in situ* (reacción al clorhídrico con grandes pompas; >10%) como en el laboratorio (de 21,2 a 44,3%), y aunque las concentraciones disminuyen generalmente con la profundidad se definen propiedades calcáricas para la mayoría de los suelos.

Cabe destacar la importancia de los aportes de agua subsuperficial y/o subterránea al menos de flujo local y el ascenso del agua por capilaridad. Estos, procedentes, por lo general, de las calizas triásicas, jurásicas o miocenas, (según las lagunas) están cargados de carbonatos, que serán fijados en el suelo tras los períodos estivales de fuerte evapotranspiración, mostrando mayores porcentajes en superficie. (Ver figura 24). En general, cuando el suelo posee cantidades superiores al 10% de CO₃Ca, toda la dinámica físico-química se ve dominada por este compuesto, variando muy poco tanto con 20% como con 30%⁵³.

⁵²-FAO-UNESCO (1988): *Soil Map of the World. Definition of soil unit*.FAO, Roma. Pág 51.

⁵³.- LÓPEZ RITAS, J. y LÓPEZ MELIDA, J. (1978): *El diagnóstico de suelos y plantas: métodos de campo y de laboratorio*. Ed. Mundi-Prensa, pág.143

Fig. 23.- Distribución del contenido en *yesc* en función de la profundidad.

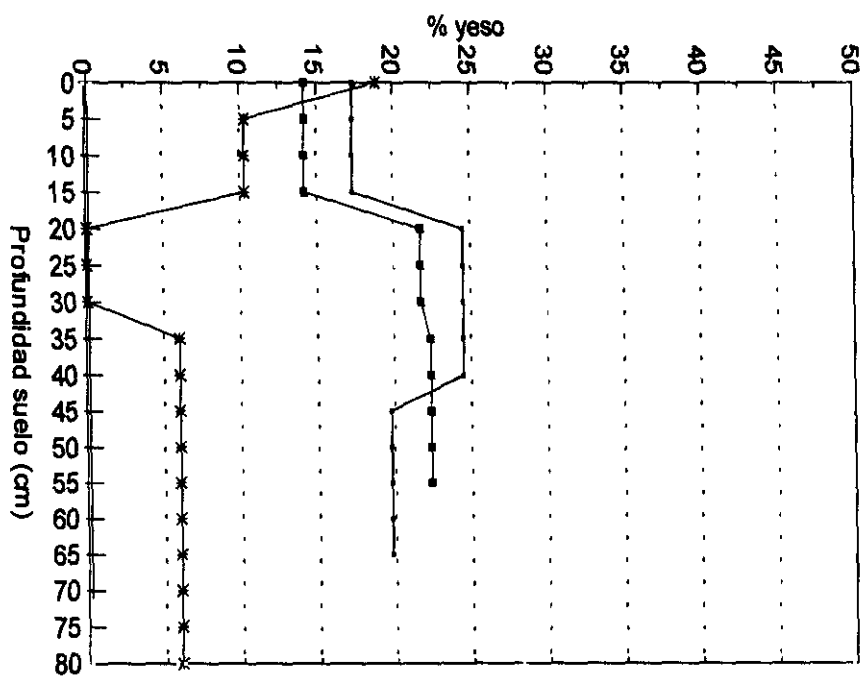
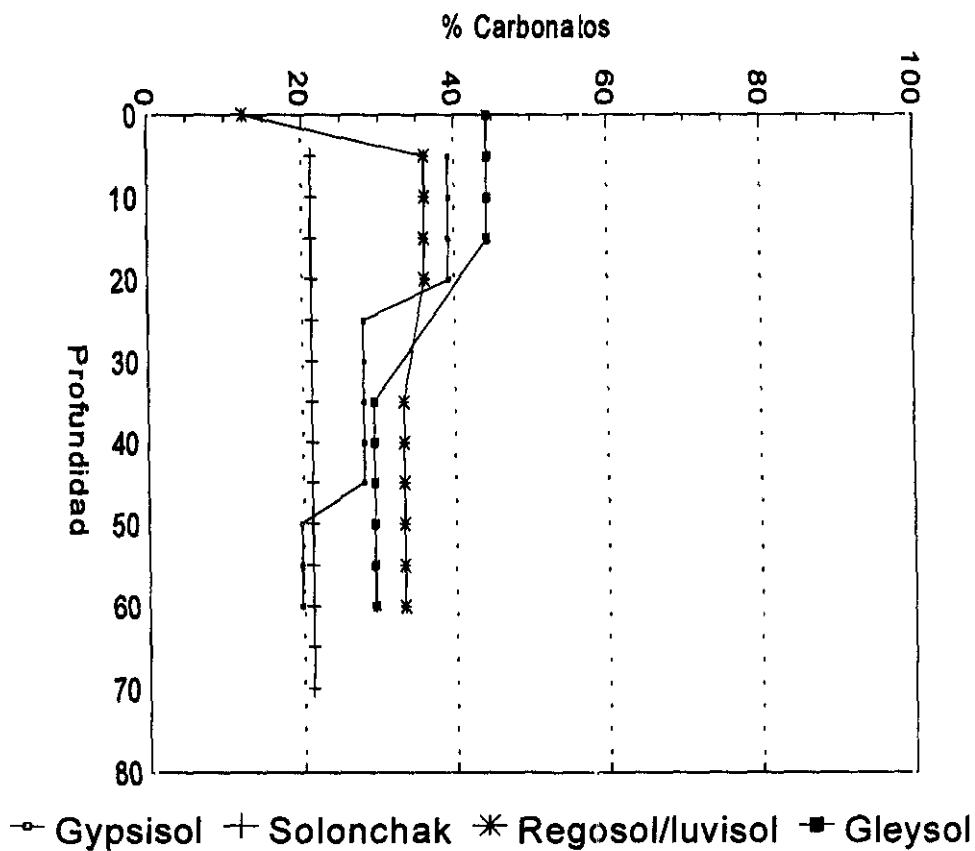


Fig. 24.- Distribución del contenido en *carbonatos* en función de la profundidad.



III.4.8. *Propiedades gléicas*

En los suelos descritos son frecuentes las oscilaciones del nivel freático subsuperficial, alcanzando durante varios meses al año un nivel piezométrico cercano a la superficie. Sin embargo, no en todos ellos pueden definirse propiedades gléicas; esto es, "materiales edáficos saturados con agua en algún período del año y la mayoría de los años, y que muestran señales evidentes de procesos de reducción"⁵⁴.

BENAYAS et al.(1992) han explicado el débil carácter gléico de humedales esteparios "por tratarse de suelos con pH alcalino donde el hierro no se moviliza con el cambio de valencia y permanece siempre precipitado... Parece ser que el pH alcalino impide que los óxidos de hierro se movilicen"⁵⁵. Otros (ALIAS y SÁNCHEZ, 1983) atribuyen a las aguas un carácter poco reductor, "lo cual, unido al bajo contenido en hierro de los materiales y a los valores de pH ligeramente alcalinos, hace que difícilmente se observen signos macromorfológicos de hidromorfía"⁵⁶.

Aquí, se disponen de medidas indirectas mensuales de los procesos oxido-reductores en los suelos descritos durante dos ciclos anuales completos a través del potencial redox que se explicarán más adelante. Sobre esa base, no se consideran propiedades gléicas cuando el ascenso del nivel freático se produce exclusivamente durante los meses de invierno, debido a que "la escasa actividad microbiana ocasionada por las bajas temperaturas ($< 7^{\circ}\text{C}$) impide que se desarrollen procesos reductores"⁵⁷. Recuérdese que al menos durante dos meses de invierno (diciembre y enero) las temperaturas medias (expresadas en el cuadro 7) son inferiores a 7°C . Tampoco van a definirse condiciones gléicas cuando el pH sea inferior a 19 algunos meses aislados al año y no se observen otros signos de reducción.

Por el contrario, sí se definen dichas propiedades en los perfiles 2 y 4. En ellos, estas condiciones se extienden al menos durante seis meses anuales (en los suelos de borde de las lagunas Larga de Villacañas y el Masegar). En ambos se advierte olor fétido, manchas ocreas y encharcamiento prolongado).

III.4.9. *Reacción de los suelos*

El pH oscila de ligeramente alcalino (7,9-8,2) a neutro (7,2-7,3), aunque el perfil N° 2 presenta variaciones mensuales de 7,6 a 9,0 en una profundidad de 40 cm.. El carácter alcalino se presenta siempre en los horizontes superiores y viene determinado por la presencia

⁵⁴. -FAO-UNESCO (1988): *Soil Map of ...* Opus cit., pág.46.

⁵⁵. - BENAYAS, J.; CRUZ de la Mª.T y REY J.Mª. (1992): Características micromorfológicas de suelos de humedales en zonas semiáridas (Cuenca del Duero). *Suelo y Planta*, Vol.2, núm.1: 21-22.

⁵⁶. - ALIAS L.J. y SÁNCHEZ A. (1983): Algunos suelos halomorfos de El Pedernoso (Cuenca). *Anal. Edaf. y Agrob. Tomo XLII*, pág.1537.

⁵⁷. -MEGONIGAL, J.P.; PATRICK, W.H; FAULKNER, S.P. (1993): Wetland identification in seasonally flooded forest soils. Soil morphology and redox dynamics. *Soil Sci. Am. J.*, 57, pág.147.

de carbonatos.

III.4.10. *Materia orgánica*

La materia orgánica presenta escasos valores por debajo de los 20 cm de profundidad (de 0,1 a 0,9%). La descomposición de la materia orgánica se limita entonces a los primeros horizontes del suelo y es el perfil 4 el que contiene el mayor porcentaje (5%). Suelen localizarse en las denominadas "tablas" o "tablazos" de los ríos manchegos, que corresponden con las antiguas llanuras de inundación de los mismos. Así, el encharcamiento por aguas subsuperficiales durante los años húmedos, o la alta humedad durante la mayor parte del año, permite la rápida descomposición vegetal, así como condiciones frecuentemente anaerobias.

III.4.11. *La textura del suelo*

Según la clasificación del Soil Survey Manual (U.S. Depart. of Agriculture) hay un claro predominio de suelos francos o medios con texturas de moderadamente gruesas (franco-arenosas) a moderadamente finas (franco-arcillosa-arenosa y franco-arcillosa). A su vez, presentan una tendencia a mostrar texturas más gruesas en los horizontes superficiales, incluso en aquéllos con textura fina dominante (el solonchak de la laguna Larga de Villacañas). Esto se debe probablemente al ascenso a superficie de carbonatos y sales poco solubles, muy abundantes en todos los suelos y, expuestos, además, a una elevada evapotranspiración estival y anual (de 397 a 441 mm y de 753 a 810 mm. respectivamente).

Debe resaltarse que los análisis texturales se realizaron sin destruir los carbonatos ni la materia orgánica, siguiendo las recomendaciones de la FAO (1988). Estas proponen: "para suelos muy calcáreos ($> 15\%$ de CO_3Ca), las partículas de carbonatos constituyen una parte tan sustancial del suelo que su eliminación no debe realizarse"⁵⁸. Por ello, se parte de que los resultados texturales pueden dar lugar a una sobreestimación de las fracciones limo y arcilla con carbonatos de tamaño arena. No obstante, al intentar hacer las granulometrías destruyendo los carbonatos no se logra una dispersión adecuada, como ha ocurrido en anteriores trabajos (PORTA, LÓPEZ-ACEVEDO y ROQUERO, 1977; GUMUZZIO, BATLLE y GUERRA, 1981; etc.).

III.4.12. *Contenido en nitrógeno: variaciones locales y estacionales*

Los valores de nitrógeno, expresados en el cuadro 12 y figura 25, son máximos siempre en superficie (< 15 cm) y suelen disminuir con la profundidad. De todos los suelos analizados los de la laguna del Masegar presentan los porcentajes más elevados (0,4-0,2), especialmente en la estación B (con un período de inundación entre 1989 y 1990 de 6 a 8 meses). Por el contrario, en el borde de la laguna de Peña Hueca, el predominio de numerosos cristales y su carácter xérico dan como resultado porcentajes mínimos de nitrógeno ($< 0,07$).

Los valores más altos de nitrógeno total (en superficie) se produjeron siempre en ambiente oxigenado, es decir con el nivel piezométrico por debajo de los 15-20 cm y los mínimos anuales suelen producirse en primavera.

⁵⁸.- FAO-UNESCO (1988): *Soil Map of ...* Opus cit. Pág. 187.

Se observa una relación directa entre el porcentaje de materia orgánica y de nitrógeno. Así, son los perfiles 1 y 4 (bordes lagunares de Villacañas Chica -gypsisol- y del Masegar -gleysol- respectivamente), en los horizontes A los que tienen los valores más elevados en ambos parámetros. Esto es debido a que el nitrógeno se halla formando parte de la composición de la materia orgánica hasta en un 10% ⁵⁹. En los perfiles 2 y 3 (lagunas Larga de Villacañas y Peña Hueca respectivamente) el contenido de materia orgánica es muy bajo e igualmente bajo es su porcentaje de nitrógeno total.

No se aprecian diferencias notables en los valores de nitrógeno total entre los suelos de borde de las lagunas contaminadas (aún con inundaciones frecuentes) de las que no lo están. Esto parece responder a la rapidez de transformación de los distintos componentes del nitrógeno mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación.

III.4.13. *Contenido en fósforo: variaciones locales y estacionales*

Son claras las diferencias en los valores de fósforo entre suelos de borde de lagunas contaminadas y las que no lo están. Mientras que en los últimos los valores no superan 5 mg/100 g de P_2O_5 asimilable, los suelos de borde de la laguna Larga de Villacañas (contaminada de residuos urbanos, industriales y temporalmente agrícolas) oscilan entre 6,5 y 16 mg/100 g.

En esta laguna se hicieron dos muestreos -uno, en el perfil 2 y otro, en un pequeño muro de contención para evitar los frecuentes desbordamientos de la laguna, situado más próximo del desagüe municipal que el suelo anterior y colindante con una parcela de cultivo. Aunque sin perfil, (ya que la apertura de una calicata ocasionaría el desbordamiento parcial de la laguna), la elevación de la superficie del suelo por parte del hombre, podría clasificarse según la FAO de antrosol.

Debe destacarse el reflejo inmediato de la contaminación agrícola y urbana en los elevados valores de fosfatos, provocados principalmente por abonos fosfatados y detergentes. Esta contaminación, como es lógico, tiene mayor repercusión cuanto más cerca está de la fuente contaminante y son varias las fuentes a contaminar. Así, es en primavera cuando se manifiestan los valores más elevados, coincidiendo con los regadíos del entorno.

⁵⁹. -KAÚRICHEV (1984): Prácticas de ...Opus cit. Pág.134.

Fig. 25.- Valores de *nitrógeno total* (%) y sus variaciones anuales.

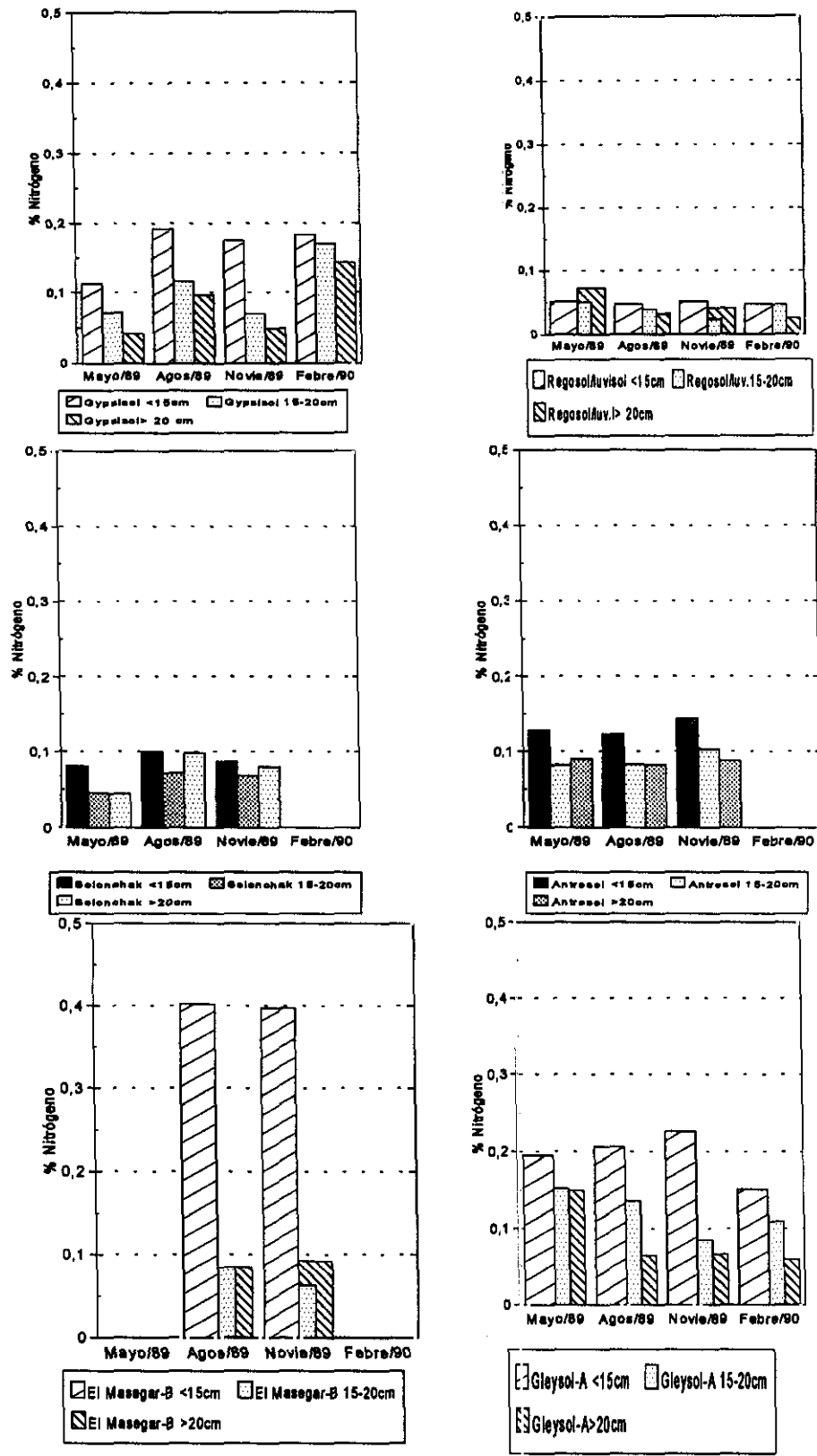
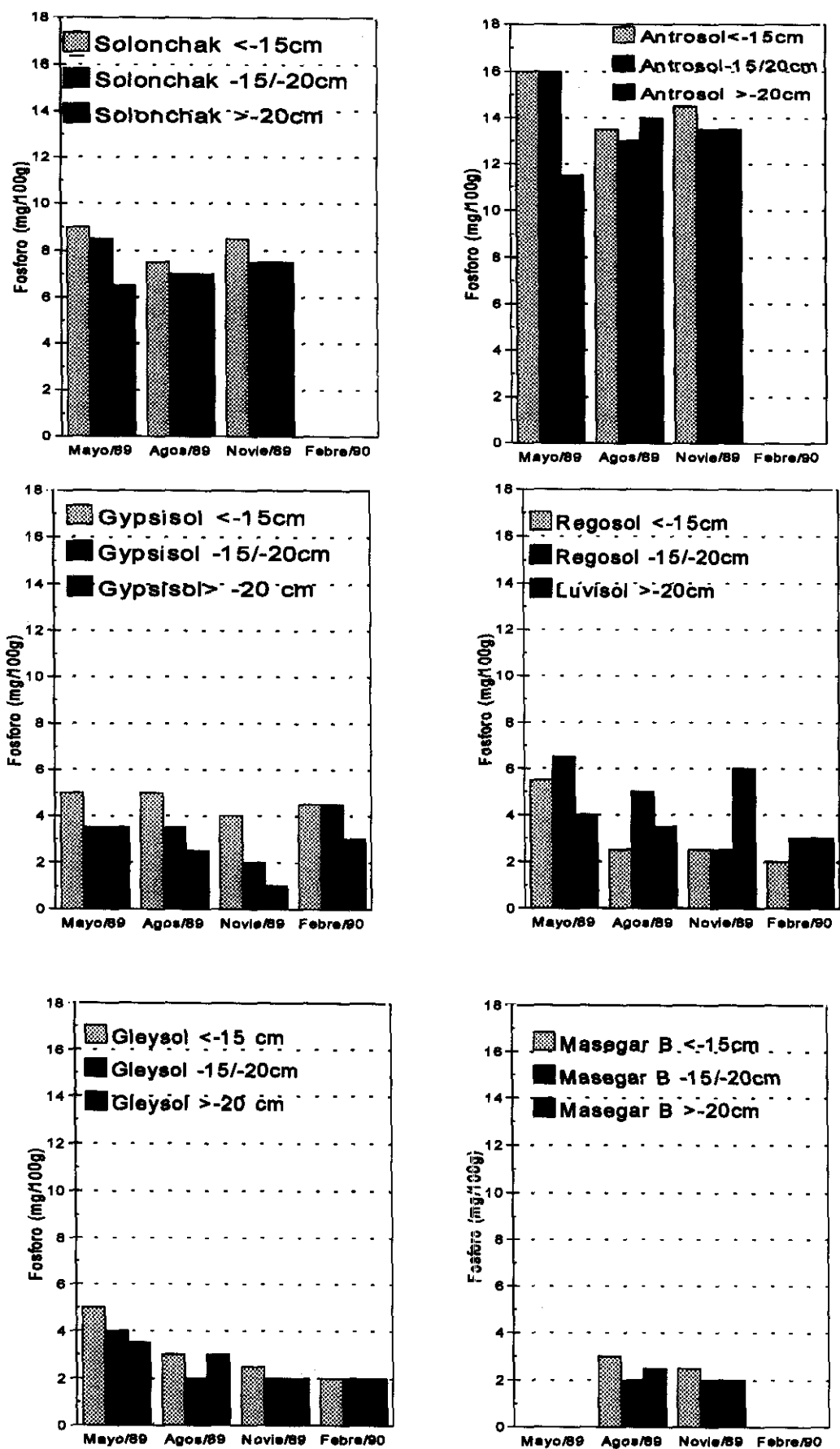


Fig. 26.- Valores de *fósforo asimilable* (mg/100 g) y sus variaciones anuales.



Otros suelos donde también se advierte la contaminación por fosfatos es en la laguna de Peña Hueca. Aquí, la única fuente contaminante es la agricultura (muy próxima al vaso lagunar) y es nuevamente la estación primaveral cuando los valores aumentan notablemente en las tres profundidades analizadas. Pero, frente a valores máximos en superficie en los otros suelos, en éste se advierten los niveles más altos de fosfatos a 15-20 cm y por debajo de los 20 cm. Esto puede ser debido a que los horizontes más superficiales tienen un dominio textural grueso, más permeables, a lo que se le une, un suelo más seco donde las gramíneas, albardín (*Lygeum spartum*), *Limonium sp.*, etc. deben presentar un enraizamiento más profundo. De este modo, en el luvisol enterrado, es en el horizonte argílico donde se advierte la mayor cantidad de los fosfatos (6,5 y 6,0 mg/100 g), gracias a la menor permeabilidad de las arcillas y a los complejos que forman con ellas.

En los perfiles 1 y 4, de las lagunas Chica de Villacañas y del Masegar (no contaminadas), los valores de fosfatos son todo el año inferiores a 5 mg/100 g y este valor sólo se observa en primavera, época en que puede atribuirse a la mayor actividad vegetal, o a posibles contaminaciones temporales por las aguas de regadío, aspecto que se analizará en el capítulo IV.

III.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Perfil N° 1:

GYPSISOL HÁPLICO (FAO, 1988), GYPSIORTHID (ST, 1975).
Laguna Chica de Villacañas (Toledo).

El suelo del borde lagunar de Villacañas Chica tiene como rasgo más característico un *horizonte gypsico* en la profundidad de 20-45 cm. (Ay3), sin más horizonte de diagnóstico que un *A ócrico*. Pese a tener altos porcentajes de carbonatos no se le puede imputar un horizonte cálcico pues el horizonte Ay2 no alcanza los 15 cm de espesor (de -8 a -20 cm) y el Ay3, con espesor suficiente, tiene menos del 5% de CO_3Ca que el Cy subyacente. Además, carece de propiedades sálicas (C.E. < 4 mS/cm) y gléicas dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie. Como se apuntó anteriormente este suelo muestra un $\text{rH} < 19$ durante los tres meses de invierno, época de escasa actividad microbiana y no muestra otros síntomas de reducción.

Al no tener ningún horizonte de diagnóstico B, carecer de horizontes cálcico y petrogypsico se define como gypsisol *háplico* (GYh).

Perfil N° 2:

SOLONCHAK GLÉICO (FAO, 1988), TYPIC SALORTHID (ST, 1975).
Laguna Larga de Villacañas (Toledo).

Este suelo, situado en el entorno de la laguna Larga de Villacañas, dominado por las arcillas rojas del triásico, presenta *propiedades sálicas* sin más horizontes de diagnóstico que un A ócrico.

Se han considerado que cumple las condiciones necesarias para definir propiedades sálicas aunque la C.E. sea de 5,3 mS/cm con un pH (relación agua/suelo 1:2,5) de 8,0 (y no de 8,5). Los datos mensuales registrados durante los años 1989 y 1990 demostraron que el pH es predominantemente alcalino en una profundidad de 30 cm desde la superficie del suelo, oscilando de 7,6 a 9,0. Pero, lo que es más importante, la C.E. siempre aumenta con la profundidad, tanto en los datos registrados en campo como en los de laboratorio y, dentro de la profundidad establecida por la FAO, -30 cm.; la C.E. todo el año es superior a 4 mS/cm.

Entre las propiedades de diagnóstico, definen la unidad o nivel 2 el carácter *gléico*. El suelo presenta durante todo el ciclo muestreado el nivel freático por encima de los -70 cm, y el pH es inferior a 19 durante 7 meses al año (de primavera a otoño), coincidiendo con el período de máxima actividad microbiana capaz de desencadenar los procesos reductores.

Otros solonchaks han sido definidos por CARLEVARIS et al. (1993) en suelos de los alrededores de humedales de la provincia de Ciudad Real. y por GUMUZZIO et al. en llanuras aluviales del NW de Toledo (Arroyo Melgar, A. Cedrón, etc.), quedando de manifiesto la frecuencia de importantes cantidades de sales en numerosos suelos de Castilla La Mancha.

Perfil N° 3:

REGOSOL CALCÁRICO (FAO, 1988), TYPIC XERORTHENT (ST, 1975), sobre
LUVISOL CRÓMICO (FAO, 1988), TYPIC HAPLOXERalf (ST, 1975).
Laguna de Peña Hueca (Toledo).

Este suelo, se sitúa en el borde de la laguna de Peña Hueca y se caracteriza por tener un suelo enterrado. Se han definido:

- Un *regosol calcárico* en superficie de 20 cm de espesor. Viene definido por un horizonte Az ócrico, muy delgado (0,6-2 cm) y un C de 18 cm de espesor, ambos calcáreos y gypsíferos (con más del 10% de carbonatos y del 5% de yesos respectivamente) que bien podría catalogarse de regosol calcárico o gypsico, pero se ha incluido en los calcáricos por el mayor porcentaje y, además, por ser más frecuente en otros bordes lagunares de la Mancha (CARLEVARIS et al. 1992).

Aunque el horizonte Az tiene más del 5% de yesos que el C subyacente, no puede considerarse un gypsisol porque no cumple las exigencias de espesor (15 cm como mínimo).

- Por debajo de él, un *luvisol crómico*, con un horizonte B árgico con un color en seco

de matiz 7,5 YR y una intensidad de croma de 6/2 (mayor de 4), que carece de propiedades vérticas, gléicas y estágnicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie. Se atribuye como agente capaz de enterrar el suelo a la acción eólica, que viene favorecida por las condiciones xéricas del suelo (especialmente en los centímetros más superficiales) y la ausencia general de barreras físicas o topográficas que permitan frenar la acción eólica en gran parte de La Mancha.

Perfil N° 4:

GLEYSOL MÓLLICO (FAO, 1988), TYPIC CALCIAQUOLL (ST, 1975).
Laguna del Masegar (Toledo).

El suelo del borde de la laguna del Masegar se caracteriza por estar formado a partir de materiales no consolidados. Tiene como horizontes de diagnóstico un A *móllico* y *cálcico* (Ahk y Ayk). Carece de propiedades sálicas (C.E. es inferior a 3 mS/cm) y presenta propiedades calcáricas y *gléicas*. Aquí, se aprecian manchas ocreas en torno a las gruesas raíces y restos de los carrizos, muestra frecuentemente olor fétido y el rH es inferior o igual a 19 durante 20 de los 24 meses muestreados, abarcando siempre de primavera a otoño.

Este suelo se define por la unidad móllica, pues aunque tiene un horizonte cálcico que podría catalogarlo en los gleysoles cálcicos, el horizonte móllico lo anula de ésta unidad, pasando a clasificarse como gleysol móllico.

En estudios precedentes (MONTURIOL et al., 1984) los suelos de la extensa llanura aluvial del río Cigüela fueron clasificados como fluvisoles. Pero las obras de encajamiento y canalización de dicho río para favorecer el incremento de aguas al P.N. de Las Tablas de Daimiel han descartado los aportes periódicos de sedimentos fluviales a la llanura de inundación a intervalos regulares, y con ello, también sus antiguas características flúvicas.

III.6. POTENCIAL REDOX

III.6.1. Introducción

Ante la dificultad de obtener valores directos de oxígeno en el suelo durante un período de tiempo suficientemente largo, se ha estudiado los procesos redox en los suelos antes descritos y situados en los bordes de las cuatro lagunas manchegas: Chica y Larga de Villacañas, Peña Hueca y el Masegar.

El potencial redox tienen como fin obtener una medida indirecta de los procesos oxidantes-reductores y, dado que este potencial responde rápidamente a los cambios de aireación y/o encharcamiento del suelo, se pretende conocer cuál es el ciclo aerobio-anaerobio durante 24 meses (de enero-febrero de 1989 a enero-febrero de 1991).

Se parte de la hipótesis de la existencia de una relación entre el nivel piezométrico del

agua y el potencial redox (PATRICK & REDDY et al., 1975...1993; MOCHEV & MIRCHEV, 1989; DOBERMANN & MUTSCHER, 1989; SHARMA & MISHRA, 1991; VELOSO, OLIVEIRA y LEAL, 1993, etc.) condicionando el primero la mayor o menor humedad y encharcamiento del suelo y, por ende, el predominio de procesos oxidantes o reductores.

Además, se supone que existirá una variabilidad estacional conforme cambian las condiciones climáticas (CLAY et al., 1990 y 1992; KOMADA, 1990; PATRICK & FAULKNER et al., 1993), en concreto con los parámetros que aportan agua y/o humedad directamente al suelo (lluvias, tormentas, rocío, escarcha, niebla, etc), con los que se la restan (evaporación) o condicionan (temperaturas del subsuelo).

También, se prevén diferencias entre los suelos analizados en función de sus distintas características edáficas, entre las que se destacan:

- El dominio textural (MEGONIGAL, PATRICK and FAULKNER, 1993);
- Contenido en materia orgánica (REDDY and PATRICK, 1975; DOBERMANN et al., 1989; KRÁLOVÁ, 1991; DRURY et al., 1991; etc).
- Contenido en nitrógeno total (REDDY & PATRICK, 1975) y fósforo asimilable.
- Duración temporal del hidromorfismo (FAULKNER & PATRICK, 1992).
- Salinidad, abundancia de yesos, de carbonatos, etc (SANZ DONAIRE y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, 1994).

En base a la extensa bibliografía experimental de los últimos años, sobre los procesos óxido-reductores que tienen lugar en los suelos bajo diferentes valores de potencial redox (E_h), se tratará de definir cuáles son los procesos dominantes en los suelos de los cuatro humedales manchegos descritos y conocer su variabilidad anual y cambios entre los distintos horizontes de los suelos.

III.6.2. Metodología

El potencial redox se obtiene a partir de dos electrodos, uno de platino -no selectivo- y, otro de cloruro de plata -de referencia colocado en la superficie del suelo (-2/-5 cm)-. Se conectan los dos a un voltímetro y se obtiene así los milivoltios de cada una de las pruebas.

Para obtener el potencial redox (E_h), se suma al dato resultante el factor del electrodo de referencia (+222 mV para el ClAg). Con el fin de poder comparar los resultados entre los distintos suelos manchegos muestreados y con los obtenidos en otras áreas, se han ajustado los potenciales redox a pH 7. Para ello, se aplica el valor de corrección de +/- 59 mV/unidad de pH⁶⁰. Esta cifra se suma en el caso de pH ácido y se resta en los alcalinos.

Se Definen como "estación redox" a cada grupo de electrodos de distintas profundidades: -2 cm, -5 cm, -10 cm, -20 cm, -50 cm, -80 cm y -100 cm, (estos dos últimos

⁶⁰. -BOHN, H.L. (1971): Redox potencial. *Soil sci*: 112, pág.40

están colocados sólo en las higrocoras de Peña Hueca y Masegar respectivamente, por la mayor duración temporal de las condiciones gléicas del primero y la presencia de horizontes enterrados en el segundo). Cada "estación redox" está formada por dos o tres réplicas de grupos de electrodos, colocados en el mismo suelo y con una separación espacial de 3 a 10 m., de modo que cada *Eh* mensual (-2 cm, -5 cm, etc.) es el valor medio de varios electrodos de un mismo suelo.

Se han efectuado análisis mensuales en seis "estaciones redox", situadas en el extremo SE de la provincia de Toledo, en los suelos que bordean las cuatro higrocoras manchegas, descritas y clasificadas anteriormente.

Las estaciones se distribuyen de la siguiente manera:

- Estación 1: en el borde de la laguna Chica de Villacañas (perfil 1), gypsisol háplico.
- Estaciones 2 y 3: en el borde de la laguna Larga de Villacañas (perfil 2), solonchak gléico y, en un pequeño muro de contención que evita con frecuencia los desbordamientos de la laguna, (antrosol) respectivamente.
- Estación 4: en el borde de la laguna de Peña Hueca (perfil 3), regosol/luvisol.
- Estaciones 5 y 6: en la laguna del Masegar (gleysoles); la primera situada en la llanura aluvial del río Cigüela, privada de las inundaciones del río desde 1987 que "se excava el cauce del río de 80 cm a 150 cm ... ante la necesidad de llevar agua al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel"⁶¹. La segunda, localizada dentro de la Laguna se ve expuesta a inundaciones periódicas durante el período muestreado (1989 y 1990), por lo que únicamente han podido muestrearse 9 meses de los dos ciclos anuales; sin embargo, muestran un rango de valores realmente amplio.

El período de muestreo va desde enero de 1989 a diciembre de 1990, prolongado en las estaciones 1 y 4 hasta febrero y marzo de 1991 respectivamente, con el fin de completar dos ciclos anuales.

Teóricamente el potencial redox puede medirse transcurridas ocho horas desde la instalación de los electrodos de platino⁶². Sin embargo, en los suelos manchegos las medidas de *Eh* fueron muy inestables durante los primeros 20-60 días, por lo que en los dos primeros meses de muestreo las medidas del *Eh* se tomaron cada 10-15 días y se expresa aquí el valor medio mensual. El motivo principal de la inestabilidad fue la mala conexión del electrodo de platino con el suelo, que se mantuvo helado parcialmente (hasta -10/-12 cm) en los gleysoles buena parte del mes de enero de 1989 y, por la falta de conexión o contacto en los gypsisoles y regosoles. Dificultades por mal contacto han sido comentadas anteriormente en Galicia en suelos de marisma y sapropels⁶³.

⁶¹. - SANZ DONAIRE, J.J. y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, A. (1993): Humedales manchegos. Características de funcionalidad geoedáfica. Resultados preliminares. *An. de Geografía de la Univ. Complutense de Madrid*, pág 173.

⁶². -BOHN, H.L. (1971): Redox potencial...Op. cit. pág.41.

⁶³. -PEÑA de la, L. y GUITIAN OJEDA, F. (1985): A comparison of redox processes in coastal and inland hydromorphic soils in Galicia (NW SPAIN). *Catena* 12, 51-59, pág. 53.

Una vez deshelado y humedecido el suelo no volvieron a apreciarse anomalías durante los dos años muestreados. Además, durante el invierno de 1989-90 no se registraron heladas en los suelos, debido a temperaturas ligeramente más elevadas (ver fig. 12) y a la menor humedad (ver fig.14). A esos problemas debe añadirse la imposibilidad de realizar las medidas en algunas lagunas (estación 2 y 3 de Villacañas y 6 del Masegar) durante algún mes por gran desbordamiento del vaso lagunar en la primera y aumento del agua por encima de los 45 cm del suelo en la segunda.

A los datos obtenidos mensualmente y ajustados a pH 7 se les ha aplicado un tratamiento estadístico para conocer cuáles son los valores de Eh característicos de los suelos del sector Villacañas-Quero (Toledo): rangos, valores máximos, mínimos, medios, etc., así como las diferencias o similitudes de Eh en función de los suelos descritos.

A su vez, se han realizado para cada "estación redox" análisis de regresión múltiples con un nivel de confianza del 95%, con la finalidad de conocer a qué responden las variaciones dentro del perfil del suelo y las diferencias temporales del potencial redox. Los parámetros correlacionados son:

- Eh (mV) medidos a distintas profundidades: -2 cm, -5 cm, -10 cm, -20 cm, -50 cm, -80 cm y -100 cm.
- Niveles piezométricos: medidos en los mismos días de muestreo que los potenciales redox.
- Datos meteorológicos diarios de la estación de Villafranca de los Caballeros (Toledo), correspondientes a los mismos días de muestreo que el potencial redox:
 - Temperatura media (°C) a -5 cm, -10 cm, -20 cm, -50 cm y -100 cm.
 - Evaporación diaria (mm).

Pese a que dicha estación meteorológica dista entre 10 y 20 Km de las lagunas analizadas y serán sensibles las diferencias en función de la topografía, humedad de los suelos, etc. son los datos diarios más próximos a los suelos analizados y además, dicha estación está situada en un relieve y vegetación similares (altitud, topografía llana, vegetación herbácea, etc).

- Nitrógeno Total (%), analizado estacionalmente (4 anuales) en tres niveles del suelo: por encima de -15 cm, entre -15 y -20 cm y por debajo de -20 cm.
- Fósforo asimilable (mg/100 g), con datos también estacionales y en los mismos niveles edáficos que el nitrógeno.

III.6.3. Resultados

Estación 1: Laguna Chica de Villacañas.

La estación 1 está situada en el borde de la laguna Chica de Villacañas en el suelo descrito como perfil 1 y clasificado de gypsisol háplico.

El nivel piezométrico describe una curva sinusoidal con un máximo en invierno, que llega a alcanzar la superficie del suelo (0/-10 cm) o a estar próxima a ella (por encima de -30 cm) y se corresponde con la estación principal de lluvias (31-36% de la precipitación anual). Dicho nivel alcanza el mínimo en septiembre-octubre, descendiendo por debajo de -200 cm que, como ha sido comentado por otros autores, responde "a la histéresis que se produce

debido a la falta de agua del suelo-sedimento después de la época estival"⁶⁴.

Por el contrario, la curvas descritas por los potenciales óxido-reductores (Eh) a distintas profundidades resultan simétricamente opuestas a la descrita por el nivel piezométrico, indicando una estrecha vinculación entre ambos parámetros (ver figura 27). Así, los Eh más elevados (aerobios) se producen en verano-primavera y los más bajos (anaerobios) en invierno.

Las condiciones reductoras en invierno (de -139 a +100 mV) se ven favorecidas por debajo de -10 cm por la saturación del suelo por las aguas subsuperficiales y en los niveles de -2 cm/-5 cm, por el notable aporte de humedad al suelo suministrado por la frecuencia de rocío (presente los tres meses), escarcha (de 8 a 15 días de media) y nieblas de irradiación (en torno a 8 días por mes), como se vio en el apartado I.8.

Como se advierte en el cuadro 13, los valores medios de Eh tienden a disminuir con la profundidad, con la excepción del electrodo de -20 cm que prácticamente todo el año se mantiene con Eh inferiores al de -50 cm. Esto debe explicarse por el mayor contenido de yesos a -20 cm (5% más que en el horizonte subyacente), de fácil solubilidad y relleno de los poros en las épocas de saturación de agua, y anoxia en las épocas estivales de fuerte evaporación por la recristalización de los yesos.

Cuadro 13.- Datos estadísticos del potencial redox (Eh) en los suelos de la Laguna Chica de Villacañas (TO).

Laguna Chica Villacañas	Profundidad del electrodo				
	1-Gypsisol	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm
Nº Muestra	22	22	22	22	22
Media (mV)	262	213	196	100	152
Desviación ST (mV)	102	80	132	78	134
Error ST (mV)	22	17	28	17	29
Máxima (mV)	454	370	375	261	438
Mínima (mV)	63	45	-72	-117	-139
Rango (mV)	391	325	448	378	579

El análisis de regresión múltiple entre los cinco electrodos (-2, -5, -10, -20 y -50 cm) durante los 22 meses muestreados, expresado en el cuadro 14, refleja una correlación relativamente elevada, con coeficientes de 0,68 a 0,78 (R^2 46-60% respectivamente), por lo que el suelo presenta una la tendencia de comportamiento similar en los diferentes niveles estudiados.

⁶⁴.-SANZ DONAIRE, J.J. y SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, A (1993): Humedales manchegos...Opus cit., pág.175

Fig. 27.-Continuación

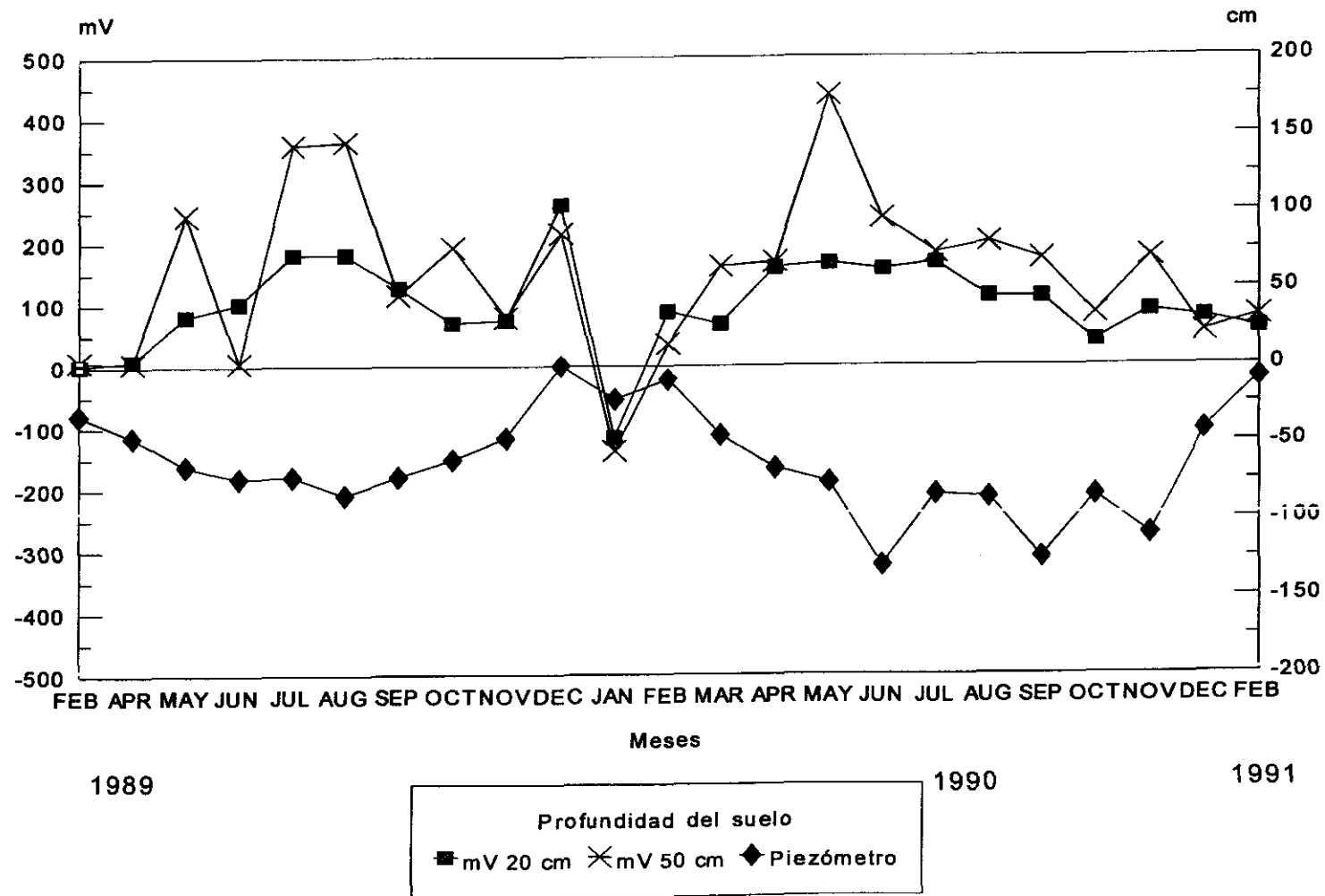
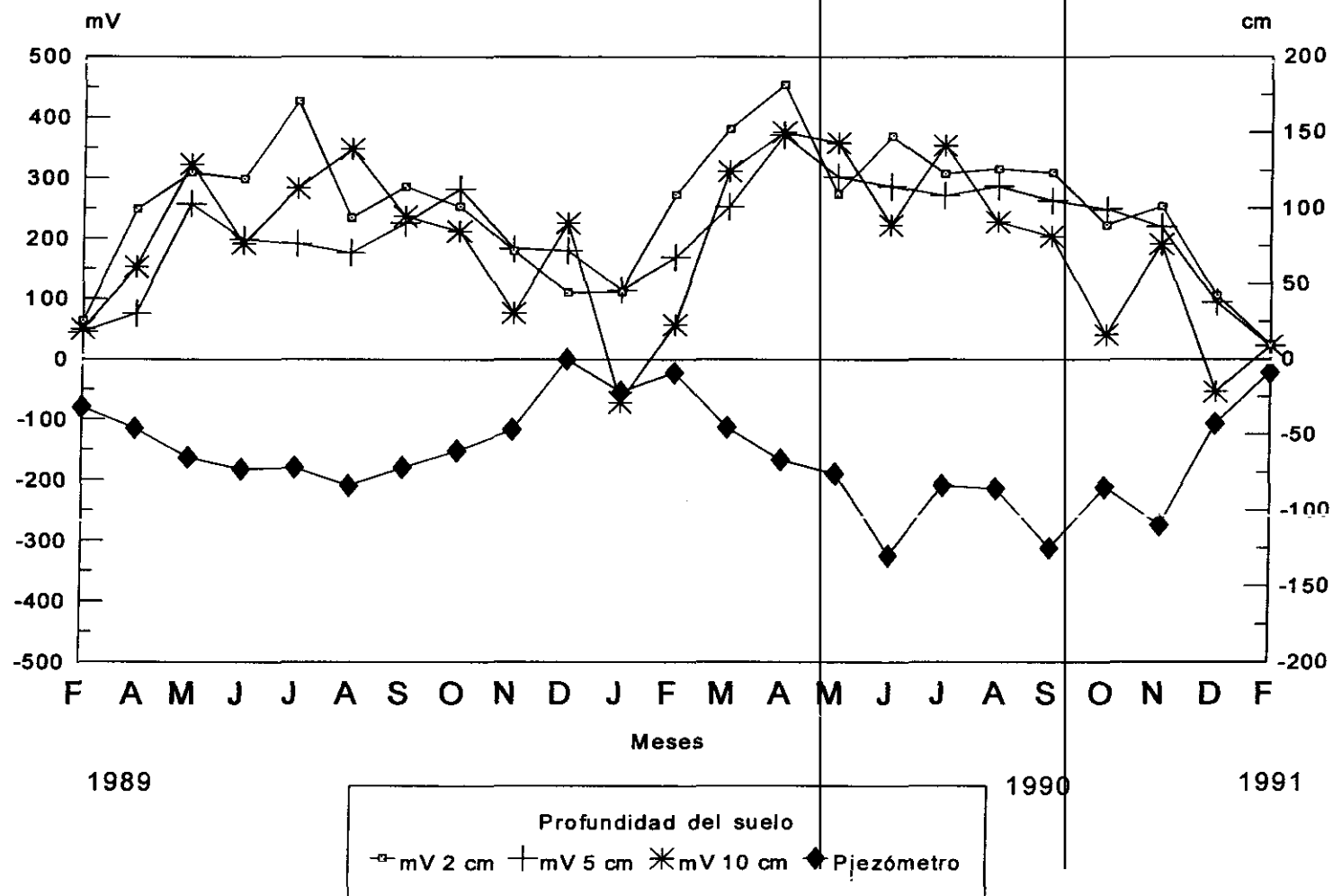


Fig.27.-Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna Chica de Villacañas.



Cuadro 14.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna Chica de Villacañas.

	Profundidad de electrodo en el suelo				
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm
Eh (mV) a -2 cm	1,00				
Eh (mV) a -5 cm	0,72	1,00			
Eh (mV) a -10 cm	0,70	0,68	1,00		
Eh (mV) a -20 cm	0,40	0,47	0,69	1,00	
Eh (mV) a -50 cm	0,47	0,55	0,78	0,76	1,00
Nivel Piezométrico (cm)	0,56	0,55	0,50	0,24	0,43
Temperatura a -5 cm(°C)	0,52	0,30	0,73	0,62	0,59
Temperatura a -10 cm(°C)	0,60	0,36	0,74	0,61	0,60
Temperatura a -20 cm(°C)	0,55	0,33	0,67	0,53	0,54
Temperatura a -50 cm(°C)	0,53	0,28	0,59	0,55	0,60
Evaporación (mm)	0,50	0,23	0,58	0,31	0,43
Nitrógeno (%) < -15 cm		0,42	0,51		
Nitrógeno (%) -15 a -20 cm				-0,65	
Nitrógeno (%) > -20 cm					0,31
Fósforo (mg/100 g) < -15 cm		0,34	0,27		
Fósforo de -15 a -20 cm				-0,99	
Fósforo (mg/100 g) > -20 cm					0,40

Respecto a las correlaciones entre los Eh y las temperaturas del suelo a distintas profundidades resultan siempre de signo positivo, indicando una relación directa entre ambos parámetros. Así, la temperatura parece, al menos, condicionar los procesos oxido-reductores. A su vez, la mayor correlación se advierte a -10 cm desde la superficie del suelo, (C.C. = 0,74; $R^2 = 56,5\%$).

Las correlaciones entre los potenciales redox y los nutrientes del suelo, sólo indican una estrecha vinculación entre el Eh a -20 cm y el fósforo asimilable a -15/-20 cm (C.C. = -0,99). Respecto al porcentaje de nitrógeno total resulta del mismo signo, pero algo inferior (C.C. = -0,65).

Estaciones 2 y 3: Laguna Larga de Villacañas.

- La estación 2 está situada en el extremo meridional de la laguna Larga de Villacañas, muy próxima a la lámina de agua y expuesta a inundaciones cuando a los continuos vertidos urbanos e industriales del pueblo de Villacañas se le suman precipitaciones relativamente elevadas y concentradas en el tiempo, como ocurrió en el otoño de 1989, impidiendo el muestreo del potencial redox de febrero a julio de 1990. La estación se instaló en el suelo descrito en el perfil 2 y clasificado de solonchak gléico.

El nivel piezométrico durante los dos años muestreados se mantuvo siempre por encima de los -67 cm, con mínimos en agosto y máximos, fuera de los meses de inundación, en invierno (de 0 a -15 cm). Este nivel piezométrico, junto al predominio textural arcilloso, con gran capacidad de retención de agua, hacen que los electrodos se vean muy influidos por el período de saturación, aunque, como es lógico, con diferencias temporales marcadas en la profundidad. Así, el electrodo de -50 cm está expuesto al nivel freático 11 meses al año (excepto agosto), el de -20 cm de 6 a 7 meses/año (de noviembre-diciembre a mayo), y los electrodos más superficiales: -2, -5 y -10 cm de 1 a 2 meses al año, en invierno. (Ver figura 28).

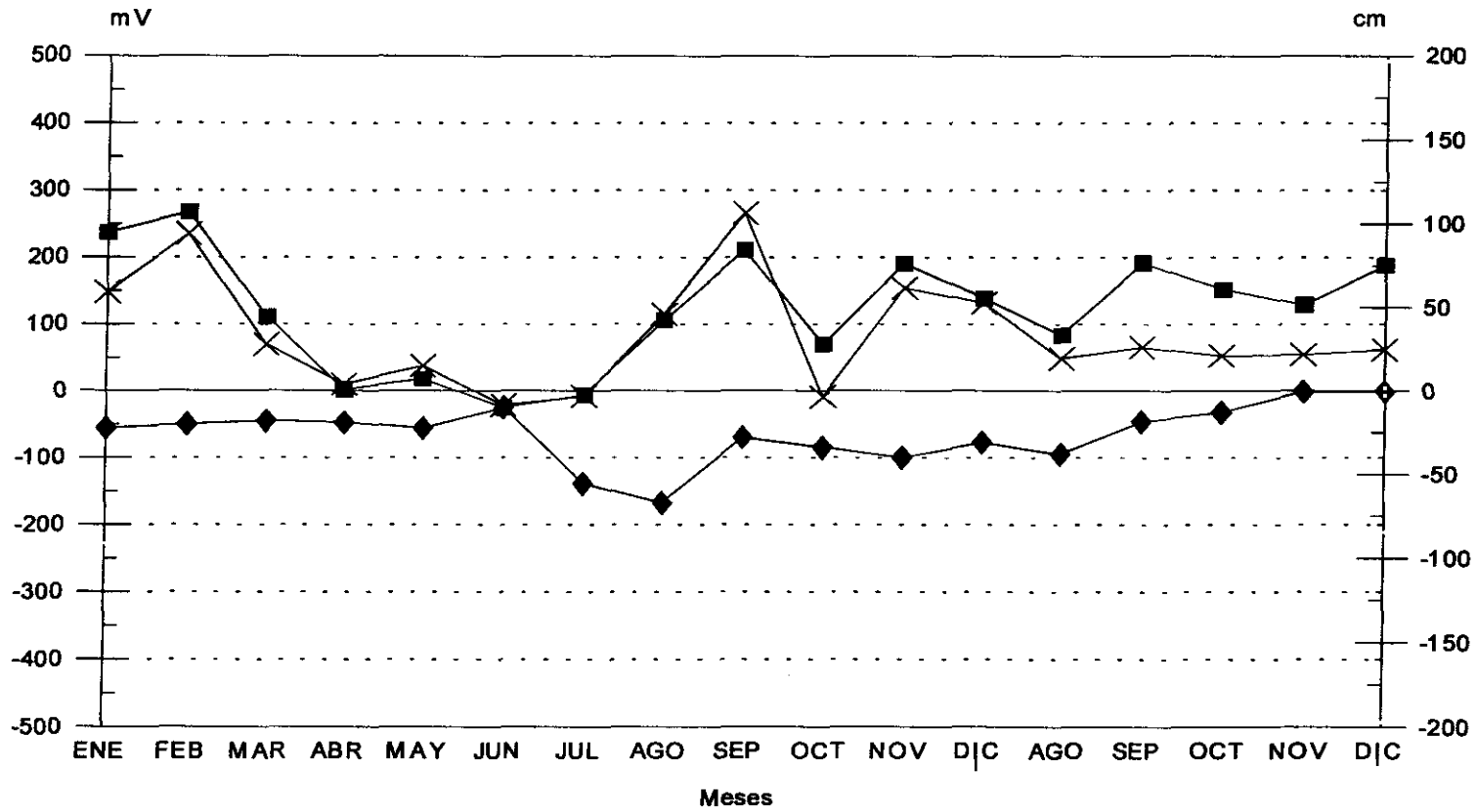
En general, los potenciales redox presentan valores ya corregidos entre +327 y -174 mV, con una tendencia a disminuir con la profundidad, hecho que se cumple en los valores máximos pero no en los mínimos, pues el nivel -10 cm tiene valores inferiores al de -20 cm, condicionando claramente la media, como se observa en el cuadro 15 y figura 28.

Los valores de Eh son mayores para todo el perfil en la segunda mitad del otoño y en invierno, posiblemente por el aporte de oxígeno por parte de las aguas meteóricas. De este modo, la saturación del agua durante los meses de invierno condiciona el rango posible del Eh, pero en un suelo frecuentemente reducido se destacan bien los aportes adicionales de oxígeno al suelo, así como su progresiva carencia en meses posteriores, a medida que va siendo consumido por las diferentes bacterias reductoras. En esta secuencia parece que se llega a la mayor anoxia en verano.

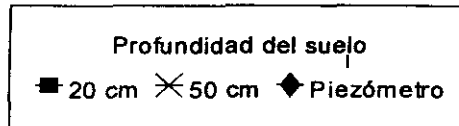
Cuadro 15.- Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna Larga de Villacañas (TO).

Laguna Larga de Villacañas	Profundidad del electrodo				
	2-Solonchak	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm
Nº Muestra	17	17	15	17	17
Media (mV)	167	164	85	121	83
Desviación ST (mV)	89	110	129	88	82
Error ST (mV)	22	27	33	22	20
Máxima (mV)	327	330	323	268	266
Mínima (mV)	2	11	-174	-25	-22
Rango (mV)	324	319	497	293	288

Fig.28. - Continuación

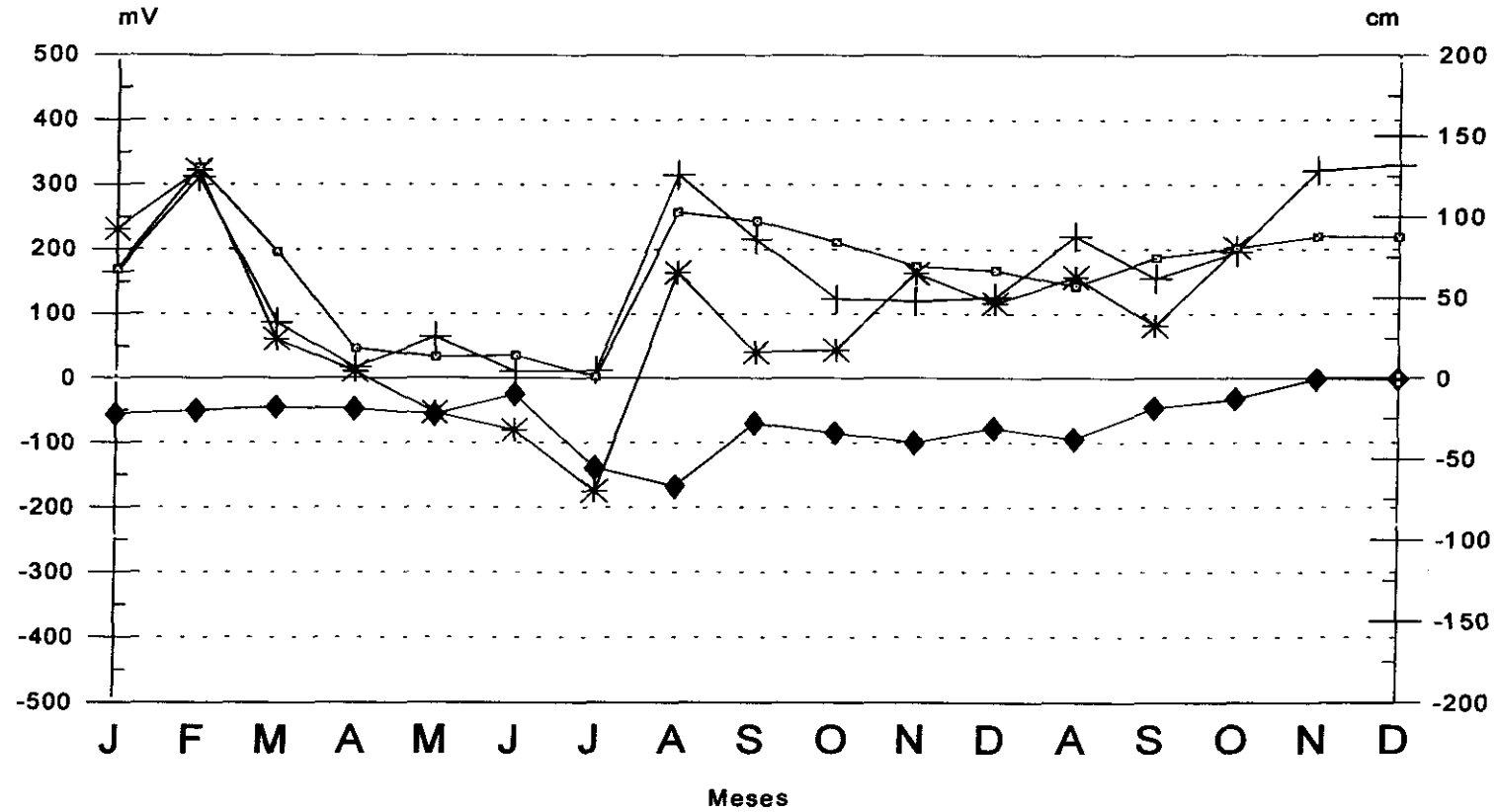


1989

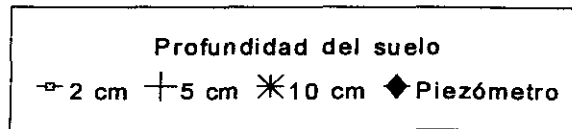


1990

Fig.28.-Potencial redox y nivel piezométrico de la laguna Larga de Vilacañas.Estación 2.



1989



1990

Cuadro 16.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna Larga de Villacañas, Solonchak.

	Profundidad del electrodo				
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm
Eh -2 cm	1,00				
Eh -5 cm	0,83	1,00			
Eh -10 cm	0,80	0,79	1,00		
Eh -20 cm	0,81	0,66	0,81	1,00	
Eh -50 cm	0,66	0,49	0,61	0,80	1,00
Nivel Piezométrico	-0,07	-0,02	0,15	-0,14	0,02
Temperatura -5 cm(°C)	-0,37	-0,12	-0,63	-0,59	-0,32
Temperatura -10 cm(°C)	-0,35	-0,07	-0,58	-0,52	-0,36
Temperatura -20 cm(°C)	-0,34	-0,07	-0,58	-0,54	-0,58
Temperatura. -50 cm(°C)	-0,34	-0,13	-0,63	-0,58	-0,26
Evaporación (mm)	-0,46	-0,25	-0,64	-0,68	-0,51
Nitrógeno (%) < -15 cm		-0,51	0,28		
Nitrógeno (%) -15 a -20 cm				-0,88	
Nitrógeno (%) > -20 cm					-0,42
Fósforo (mg/100 g) < -15 cm		-0,99	-0,70		
Fósforo de -15 a -20 cm				-0,66	
Fósforo (mg/100 g) > -20 cm					0,18

El análisis de regresión entre los distintos electrodos, expresado en el cuadro 16, muestra una correlación bastante elevada en los 50 cm superiores del suelo, siendo máxima entre cada electrodo y el contiguo. Los coeficientes de correlación oscilan de 0,83 ($R^2=68,4$) entre los electrodos de -2 y -5 cm y 0,79 ($R^2=63,8\%$) entre los de -5 y -10 cm.

El mismo análisis, entre el contenido de fósforo asimilable estacional y el potencial redox de los electrodos correspondientes, da como resultado una estrecha correlación sólo en superficie (muestras de fósforo y electrodo a -5 cm), con un coeficiente de -0,99 ($R^2=98,5\%$). Este valor desciende a -0,66 (43,8%) con el electrodo de -20 cm y a 0,18 (3,45%) por debajo de esta profundidad.

Respecto al nitrógeno total, por el contrario, es el electrodo de -20 cm el que presenta la relación más estrecha, (Corr.=-0,88; $R^2=77,74\%$), indicando seguramente que los periodos desnitrificadores o reductores se corresponden con mayores porcentajes de nitrógeno total por la presencia de mayor número de compuestos del nitrógeno ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$).

La relación entre los parámetros meteorológicos y los potenciales redox es muy baja respecto a la temperatura, donde los coeficientes de correlación entre la misma profundidad oscilan de -0,12 (a -5 cm) a -0,58 (a -10 cm). Algo más elevada es la correlación con la evaporación, aunque sólo resulta significativa en los niveles de -10 cm y -20 cm, con coeficientes entre -0,64 y -0,68 respectivamente.

- La estación 3 está situada en el borde de la laguna de Villacañas en un pequeño muro de contención de unos 30 cm de altitud que separa el vaso lagunar de un campo de cultivo, y está más próxima a los canales de desagües del pueblo de Villacañas que la estación 2. Como en el caso anterior, tampoco pudieron muestrearse cinco meses de 1990 por las inundaciones arriba comentadas.

Como se observa en la fig. 29 el nivel piezométrico describe una curva similar a la anterior con un mínimo en agosto de -74 cm y un máximo en diciembre de -15 cm. De este modo, el electrodo de -50 cm se ve expuesto al contacto directo con las aguas subsuperficiales 10 meses al año (excepto agosto y septiembre), el de -20 cm de 4 a 5 meses/año (diciembre-enero a abril) y, salvo desbordamiento del vaso lagunar, los tres electrodos más superficiales nunca están expuestos a dicho nivel.

Los valores del potencial redox (Eh) se producen en el rango de +447 mV (a -10 cm) a -40 mV (-50 cm), siendo éste el electrodo con mayor variabilidad intermensual. Las medias de los 18 meses muestreados tienden a disminuir con la profundidad, hecho que sólo deja de cumplirse entre los electrodos de -2 y -5 cm, posiblemente por la mayor actividad de la edafofauna en el segundo nivel. (Ver cuadro 17 y figura 29).

En general, los tres electrodos superficiales muestran una secuencia similar a lo largo del período estudiado, con cambios mensuales que no parecen responder a cambios de humedad del suelo, ni estar influidos por las precipitaciones, ya que presentan el mayor descenso del Eh en agosto y los valores más altos pueden darse en cualquier mes.

Los Eh más bajos se produjeron a -50 cm en el período de abril a julio de 1989 (de -3,2 a -39,7 mV respectivamente), con un nivel piezométrico que se mantuvo entre -20 y -50 cm y, el mínimo absoluto se produce cuando el agua subsuperficial se mantiene al mismo nivel que el electrodo.

Cuadro 17.- Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna Larga de Villacañas (TO).

Laguna Larga de Villacañas	Profundidad del electrodo				
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm
Nº Muestra	18	18	18	18	17
Media (mV)	268	279	241	210	162
Desviación ST (mV)	112	115	83	78	129
Error ST (mV)	26	27	20	18	31
Máxima (mV)	418	428	447	356	366
Mínima (mV)	92	49	106	35	-40
Rango (mV)	326	378	342	321	405

Fig. 29.- Potencial redox y nivel piezométrico de la laguna Larga de Villacañas. Estación 3

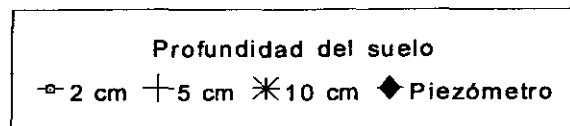
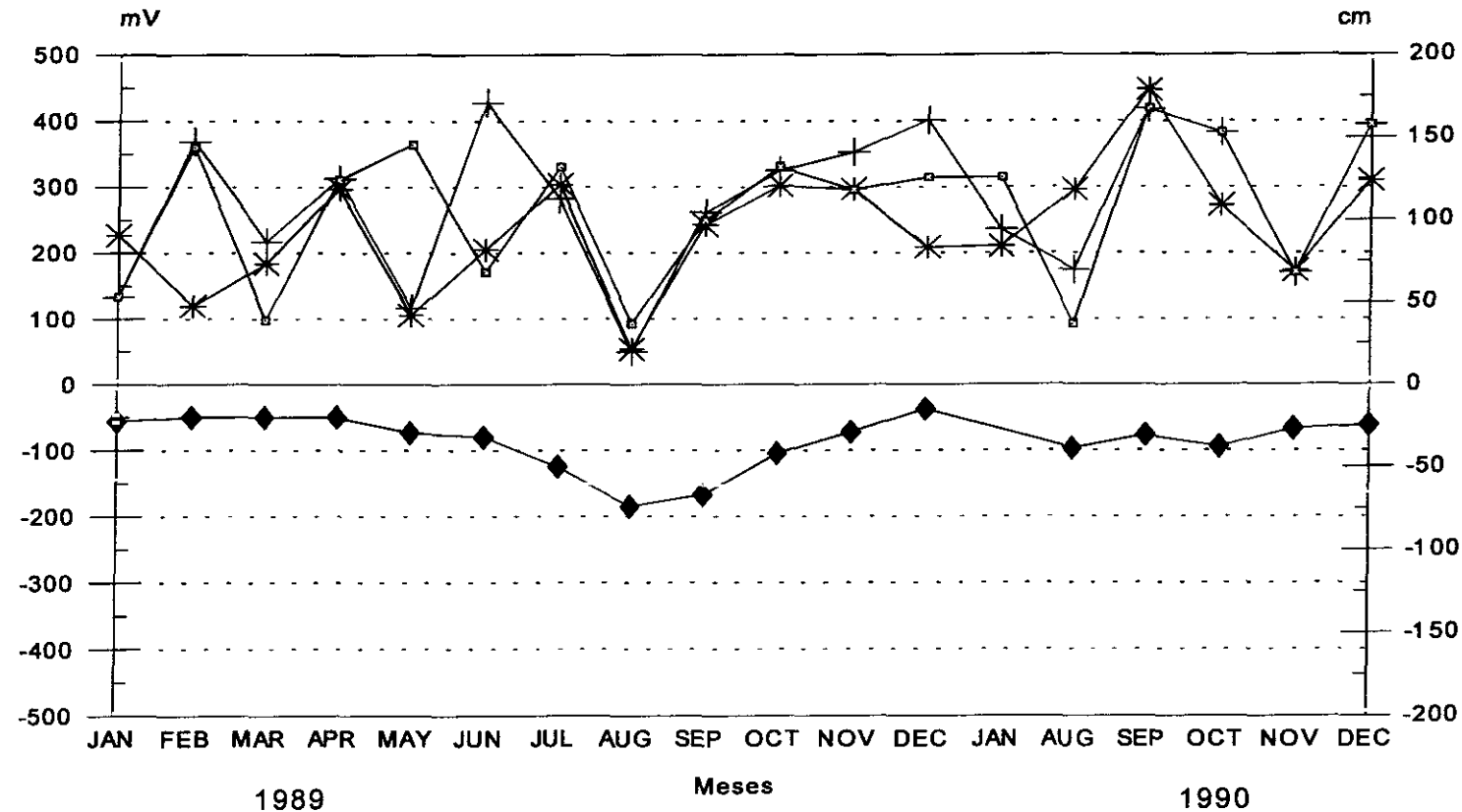
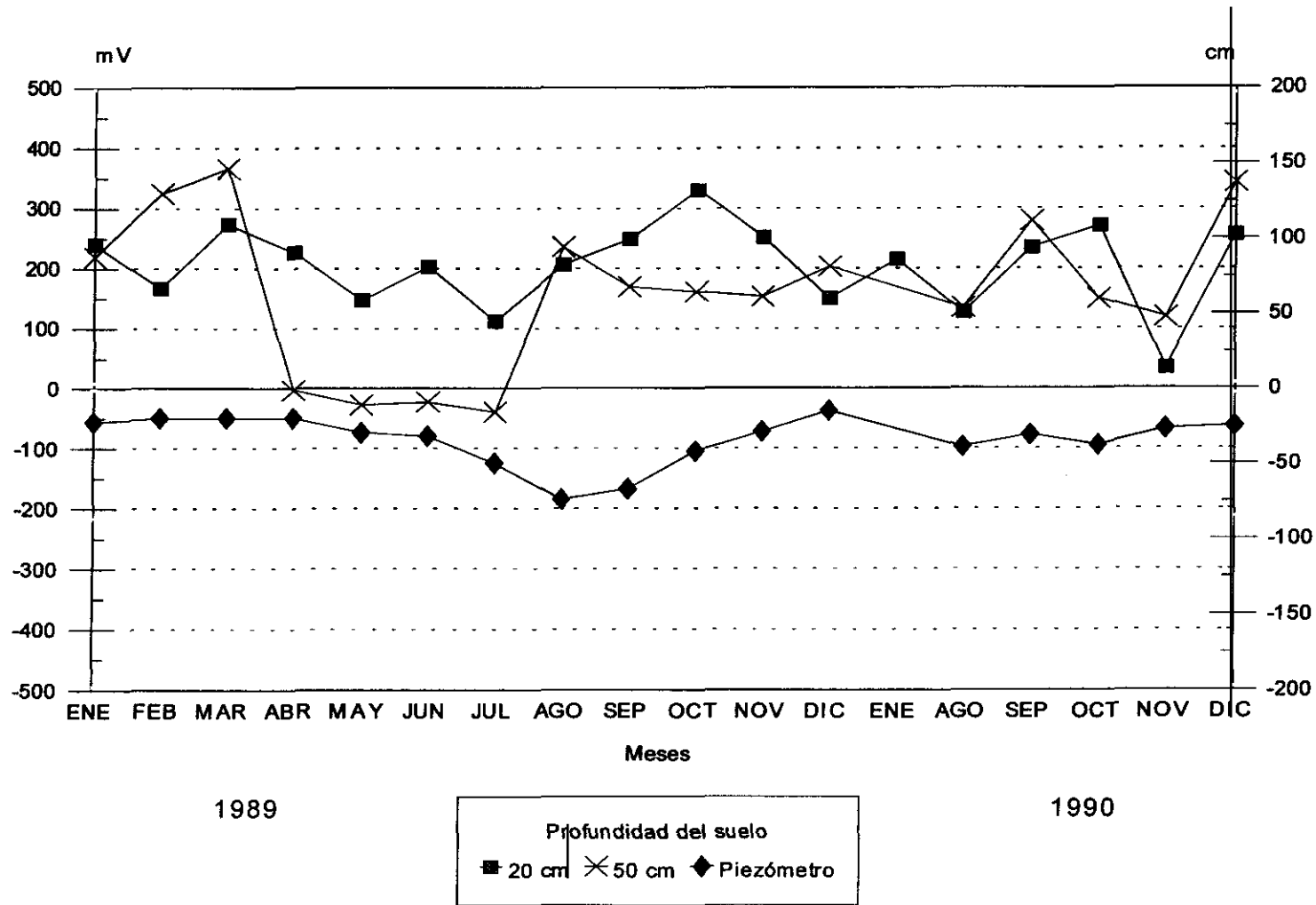


Fig. 29.- Continuación.



Cuadro 18.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -50 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna Larga de Villacañas; antrosol.

	Profundidad del electrodo en el suelo				
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm
Eh (mV) a -2 cm	1,00				
Eh (mV) a -5 cm	0,62	1,00			
Eh (mV) a -10 cm	0,35	0,50	1,00		
Eh (mV) a -20 cm	0,25	0,34	0,08	1,00	
Eh (mV) a -50 cm	-0,05	0,08	0,08	0,40	1,00
Nivel Piezométrico (cm)	0,21	0,12	-0,09	-0,01	0,15
Temperatura a -5 cm(°C)	-0,19	-0,14	0,04	-0,14	-0,45
Temperatura a -10 cm(°C)	-0,16	-0,12	0,18	-0,14	-0,40
Temperatura a -20 cm(°C)	-0,20	-0,17	-0,40	-0,17	-0,41
Temperatura a -50 cm(°C)	-0,28	-0,29	-0,09	-0,19	-0,49
Evaporación (mm)	-0,27	-0,14	0,00	-0,16	-0,45
Nitrógeno (%) < -15 cm		-0,50			
Nitrógeno (%) -15 a -20 cm				0,84	
Nitrógeno (%) > -20 cm					0,78
Fósforo (mg/100 g) < -15 cm		0,09			
Fósforo de -15 a -20 cm				-0,83	
Fósforo (mg/100 g) > -20 cm					0,99

El análisis de regresión entre los diferentes electrodos, expresado en el cuadro 18, muestra una ausencia de relación entre los distintos niveles del suelo, a consecuencia del carácter antrópico del mismo, con horizontes originales removidos que no responden a un evolución edáfica normal. El coeficiente de correlación es en todos los casos inferior al existente entre los electrodos de -20 y -50 cm, de 0,4 ($R_2=19\%$). Por el mismo motivo, tampoco se observa relación con los parámetros meteorológicos que, como se recordará, no son del mismo suelo, sino de una estación cercana (Villafranca de los Caballeros) situada en un suelo menos alterado que el de Villacañas. De igual modo, no existen correlaciones entre los valores del Eh a -5 cm con el contenido de fósforo, ni de nitrógeno. El potencial redox sólo parece tener relación con el nitrógeno a mayor profundidad (a -20 cm, C.C. = 0,84 y a -50 cm, C.C. = 0,78), en los horizontes supuestamente más estabilizados.

Estación 4: Laguna de Peña Hueca.

Esta estación presenta los valores absolutos de Eh más elevados (+479 mV y +487 mV a -2 y -5 cm respectivamente) y, además, durante los dos ciclos anuales ningún valor de Eh es negativo, como sí ocurre en los demás suelos, siendo el intervalo más repetido de +200 a +300 mV (58,4%). (Ver fig. 30).

Por lo general, los valores de Eh no disminuyen con la profundidad del suelo, sino que el electrodo de -5 cm suele estar más oxidado que el de -2 cm y, los de -20 cm y -50 cm tienen valores medios más bajos que el electrodo de -80 cm.

Los dos electrodos más superficiales (- 2 cm y -5 cm) son los que presentan la mayor variabilidad debido al predominio textural grueso (arenosa franca), de gran permeabilidad, y al aporte de las ocasionales aguas atmosféricas. La correlación entre ambos electrodos es bastante buena ($0,80$; $R^2 = 63,2\%$), mientras que entre éstos y el electrodo de -10 cm la relación disminuye considerablemente ($C.Corr. = 0,63$; $R^2 = 40\%$) y no muestran ninguna correlación con los electrodos inferiores a éste, como respuesta a las distintas características edáficas del luvisol enterrado.

El nivel piezométrico muestra valores más cercanos a la superficie en invierno (en torno a -30/-40 cm) y por debajo de -200 cm en verano (ver figuras 12 y 13). De este modo, entre finales del otoño y primavera los electrodos de -50 cm y -80 cm se ven expuestos a la oscilación de las aguas subsuperficiales. No obstante, los valores de Eh son más bajos durante los meses que el nivel piezométrico se encuentra en una profundidad similar a la del electrodo. Esto es, en la primavera de 1989 el agua se mantuvo en torno a -50 cm y fue el electrodo a la misma profundidad el que registró los mínimos valores. Estos valores se obtuvieron a -80 cm con una histéresis de 1 ó 2 meses.

Cabe destacar que 1989 fue bastante más húmedo que 1990 y 1991, reflejándose en una mayor reducción de los valores de Eh (de marzo a junio: de +27 mV a +100 mV), mientras que estos valores estuvieron prácticamente ausentes en los dos años sucesivos (sólo abril de 1990).

Pese a una mayor exposición de los electrodos más profundos a las aguas subsuperficiales, en el cuadro 19 se observa que los valores mínimos de Eh se producen a -2 cm y a -10 cm y la media más baja a -20 cm, posiblemente debido a la mayor actividad de las bacterias reductoras en horizontes superficiales.

Cuadro 19.- Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna de Peña Hueca (TO).

Laguna de Peña Hueca 4-regosol/luvisol	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-80 cm
Nº Muestra	23	23	22	23	23	22
Media (mV)	236	275	223	191	218	233
Desviación ST (mV)	103	99	70	90	71	68
Error ST (mV)	22	21	15	19	15	14
Máxima (mV)	479	487	344	334	340	359
Mínima (mV)	28	99	28	51	73	48
Rango (mV)	452	389	316	284	267	312

Fig.30.- Potencial redox y nivel piezométrico de la laguna de Peña Hueca.

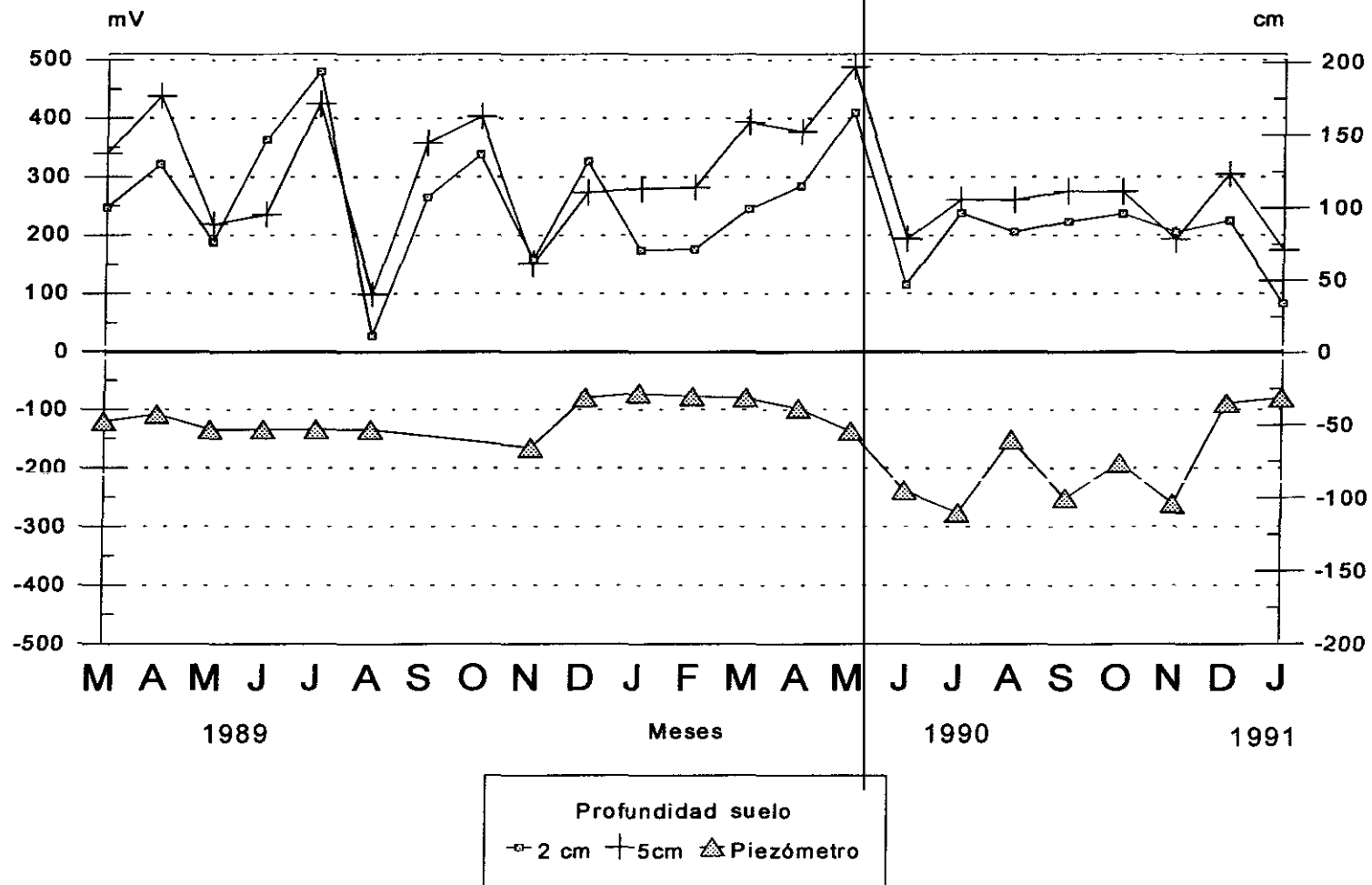
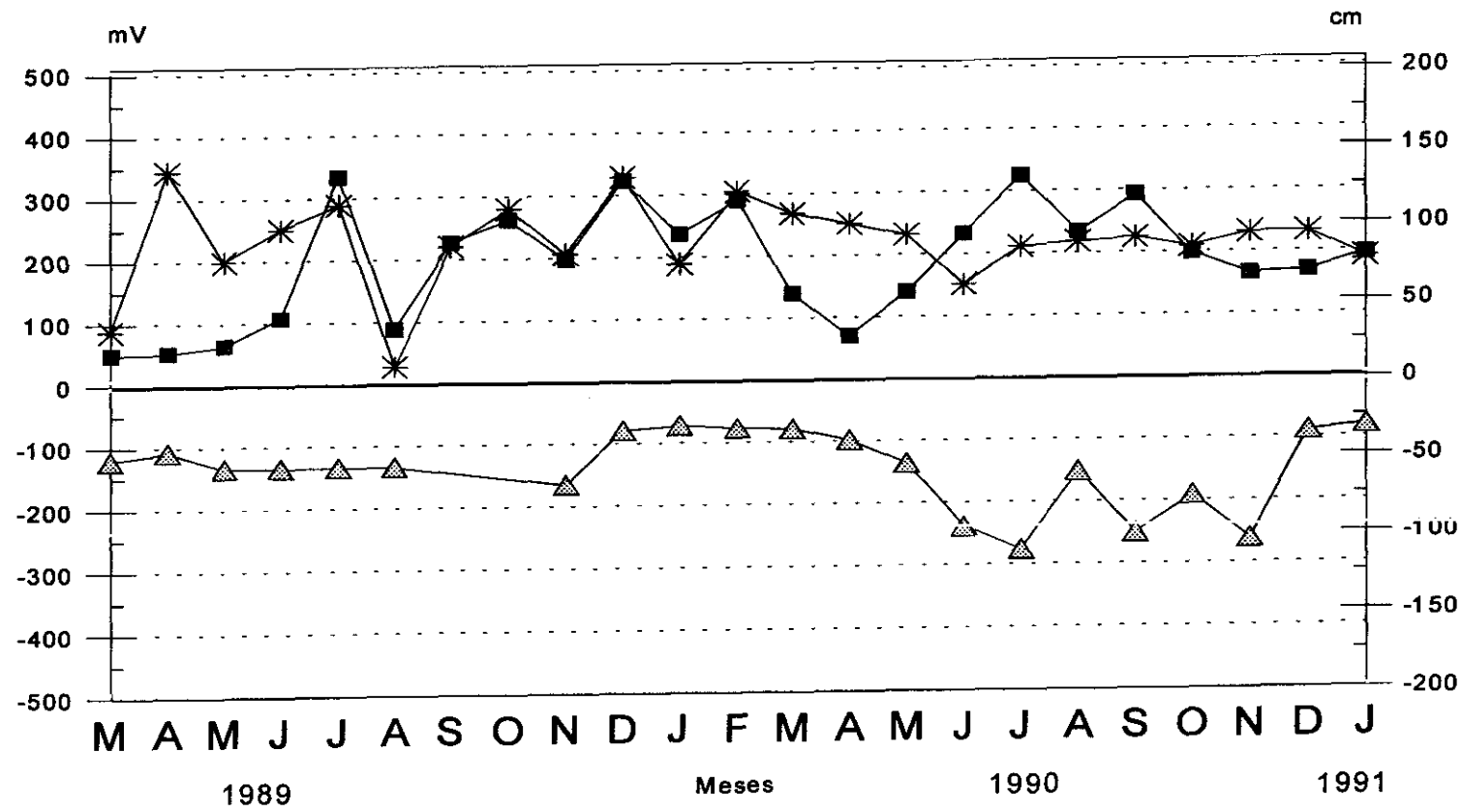
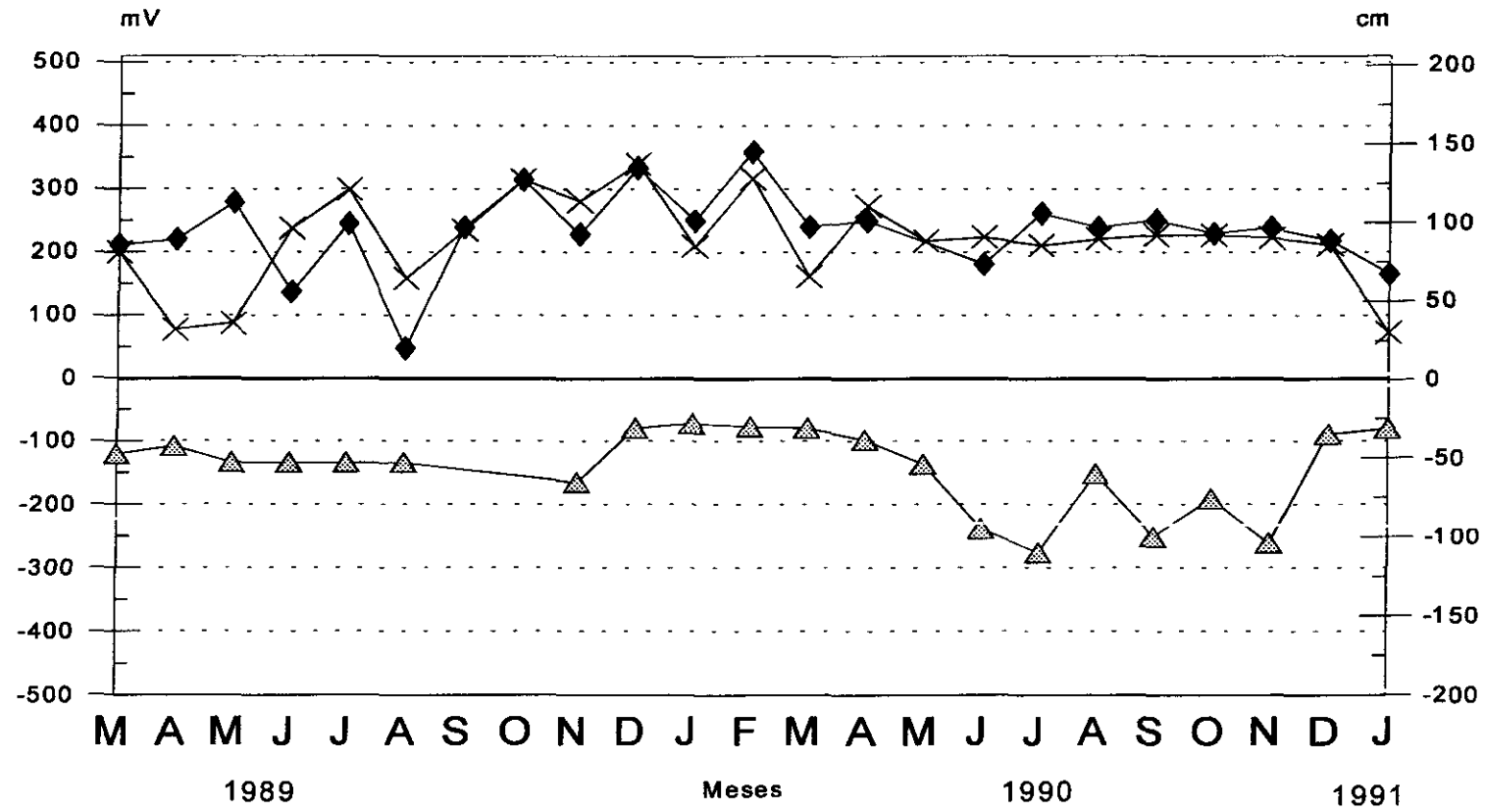


Fig.30.- Continuación.



Profundidad suelo
 * 10 cm ■ 20 cm ▲ Piezómetro

Fig.30.- Continuación.



Profundidad suelo
 × 50 cm ◆ 80 cm ▲ Piezómetro

Cuadro 20.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -80 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna de Peña Hueca.

	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-80 cm
Eh (mV) a -2 cm	1,00					
Eh (mV) a -5 cm	0,80	1,00				
Eh (mV) a -10 cm	0,63	0,54	1,00			
Eh (mV) a -20 cm	0,13	0,54	0,32	1,00		
Eh (mV) a -50 cm	0,39	0,15	0,31	0,58	1,00	
Eh (mV) a -80 cm	0,39	0,45	0,67	0,48	0,48	1,00
Nivel Piezométrico (cm)	-0,05	0,06	0,11	-0,32	-0,20	-0,05
Temperatura a -5 cm (°C)	0,17	-0,09	-0,23	0,11	0,07	0,34
Temperatura a -10 cm (°C)	0,14	-0,10	-0,23	0,16	0,05	-0,34
Temperatura a -20 cm (°C)	0,15	-0,08	-0,25	0,12	0,13	-0,35
Temperatura a -50 cm (°C)	0,14	-0,10	-0,26	0,05	0,01	-0,38
Temperatura a -100 cm (°C)	0,17	-0,07	-0,24	0,04	0,10	-0,35
Evaporación (mm)	0,14	-0,06	-0,22	-0,16	-0,05	-0,41
Nitrógeno (%) < -15 cm		0,10	0,18			
Nitrógeno (%) -15 a -20 cm				-0,42		
Nitrógeno (%) > -20 cm					-0,77	
Fósforo (mg/100 g) < -15 cm		0,12	0,01			
Fósforo de -15 a -20 cm				-0,92		
Fósforo (mg/100 g) > -20 cm					0,14	

El cuadro 20 muestra para el regosol/luvisol de Peña Hueca ausencia de relación entre el potencial redox y los parámetros meteorológicos (temperatura del suelo y evaporación), debido seguramente al predominio de Eh elevados (oxidados) durante gran parte del período muestreado, a consecuencia del carácter xérico del suelo, abundancia de sales, textura gruesa en superficie, etc.

La correlación entre los datos estacionales de fósforo y los mismos de Eh, mostrada en el cuadro 20, es muy elevada y de signo negativo (-0,92) sólo para el nivel de -15 a -20 cm y electrodo de -20 cm.

Respecto al porcentaje de nitrógeno total, la correlación es de signo negativo, y solo representativa entre el electrodo de -50 mV y la muestra de suelo < -20 cm, con un C.C. de -0,77 ($R^2=59,4\%$). La mayor relación del citado nivel viene condicionada por el mayor porcentaje de nitrógeno total, especialmente en primavera (0,07 %), frente a porcentajes muy reducidos en superficie.

Estaciones 5 y 6: Laguna del Masegar.

- La estación 5 corresponde con el perfil 4 descrito en el apartado III.3.4. y se define como un gleysol mólico, situado entre el río Cigüela y el muro de contención de la laguna del Masegar propiamente dicha, denominada en el lugar por "palería", y por tanto, fuera de la lámina de agua de la laguna.

El nivel piezométrico describe, como en las demás estaciones comentadas, una curva sinusoidal con máximos en invierno y primavera, época en que el agua se mantiene entre -18 cm (mayo de 1989) y -34 cm (mayo de 1990). Durante el verano se produce un descenso paulatino hasta alcanzar el mínimo en octubre-noviembre, sin descender en estos años de -130 cm (octubre de 1989), como se observa en la figura 31.

El ciclo hídrico de las aguas subsuperficiales del Masegar debe entenderse desde una doble perspectiva. Por un lado, el agua piezométrica describe una curva similar a las precipitaciones, por ser ésta su principal fuente de alimentación, con máximos en invierno y notable descenso en verano. Por otro lado, la gestión antrópica del agua de la laguna, hasta la fecha con fines ornitológicos, conduce a "llenarla" en la época de mayor pluviometría, retenerla durante la primavera para favorecer la nidificación y cría de las diferentes aves, y manteniéndola hasta finales del verano, aunque la importante evaporación reduce considerablemente la ya somera lámina de agua. Durante el final del verano o principios del otoño, dejan las compuertas abiertas para proceder a la renovación del agua de la laguna en el próximo invierno.

Como se observa en el cuadro 21, todos los valores del potencial redox (Eh) durante los 24 meses muestreados son bastante bajos, con un rango de +300 mV a -212 mV. Los valores medios de Eh disminuyen con la profundidad, mostrando una evidente relación con el nivel del agua subsuperficial. Así, los electrodos más cercanos a la superficie (-2, -5 y -10 cm) que nunca entran en contacto con el nivel piezométrico presentan, en los dos ciclos anuales, valores de Eh superiores a los electrodos situados a mayor profundidad. A su vez, estos muestran Eh medios más bajos conforme aumenta el período de exposición al nivel freático: +114,6 mV para el electrodo de -20 cm con 2-3 meses de saturación de agua; +23,6 mV para el de -50 cm con 8-7 meses/año, y -2,8 mV para el electrodo de -100 cm con 9 meses/año. Cabe destacar que la respuesta del Eh al nivel piezométrico no es inmediata, sino que se produce con una histéresis de 1 a 2 meses, a medida que se consume el oxígeno del suelo y, por ello, no existe correlación entre ambos parámetros, como se observa en el cuadro 22.

Los electrodos superiores (-2, -5, -10 y -20 cm) sólo presentan valores de Eh inferiores a +100 mV de primavera a otoño, período de mayor actividad biológica o, lo que es lo mismo, no se registran dichos valores durante los meses de invierno. Los electrodos de -50 y -100 cm sí muestran $Eh < +100$ prácticamente durante todo el año, pues se ven favorecidos por unas temperaturas siempre superiores a los 6°C y a una casi continua saturación de agua.

Los valores de Eh mínimos suelen producirse de abril a junio en los 20 cm superiores del suelo, de julio a septiembre a -50 cm y en verano e invierno a -100 cm. Respecto a los valores máximos, por lo general, y para todos los horizontes del suelo se advierten en invierno cuando las aguas meteóricas aportan oxígeno al suelo.

Fig.31.- Potencial redox y nivel piezométrico en la laguna del Masegar. Estación 5.

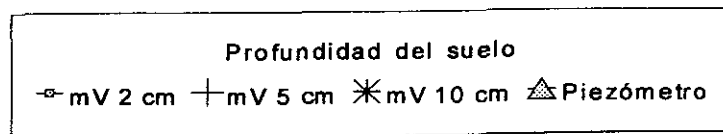
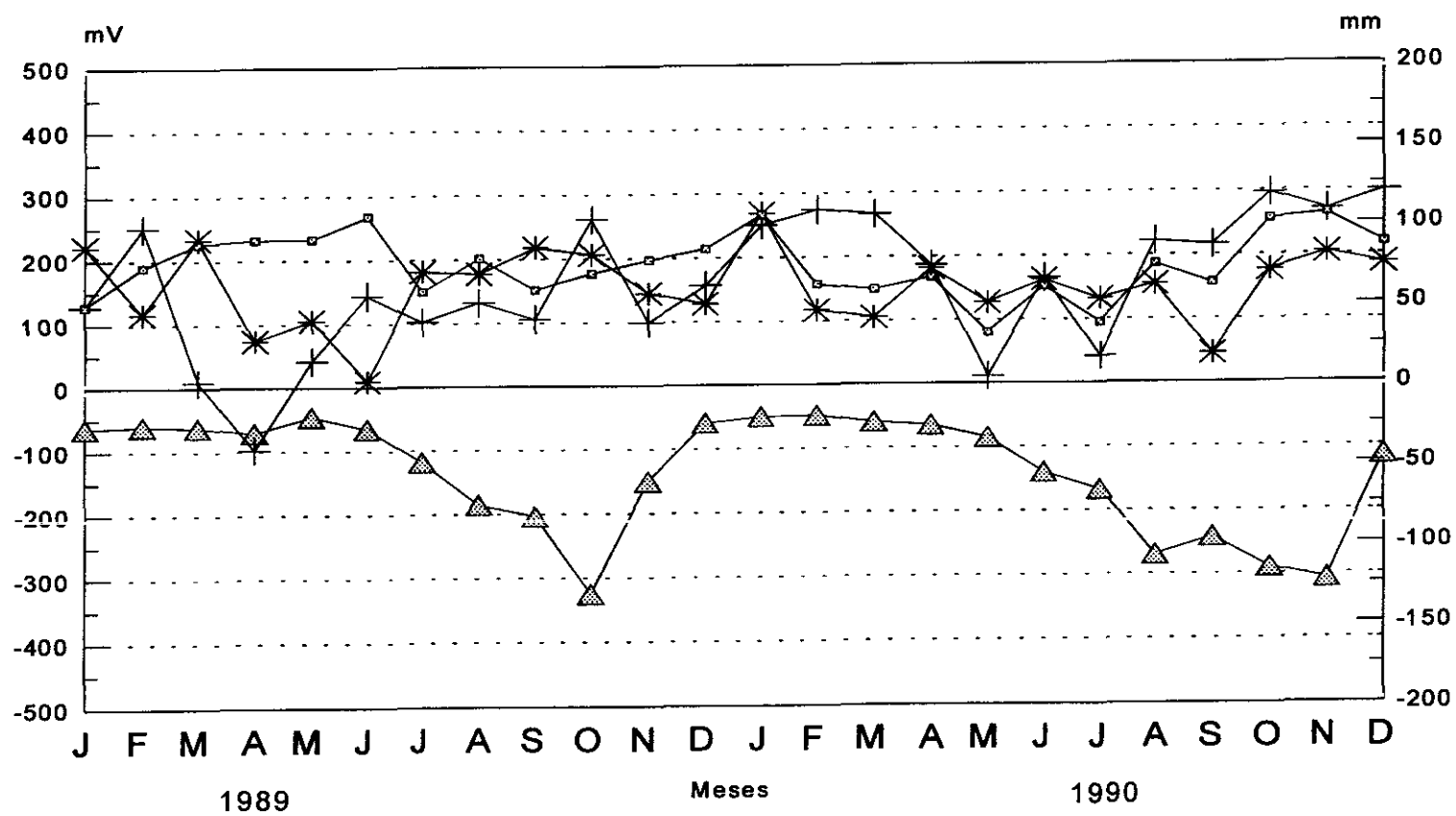
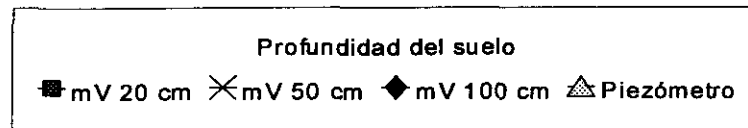
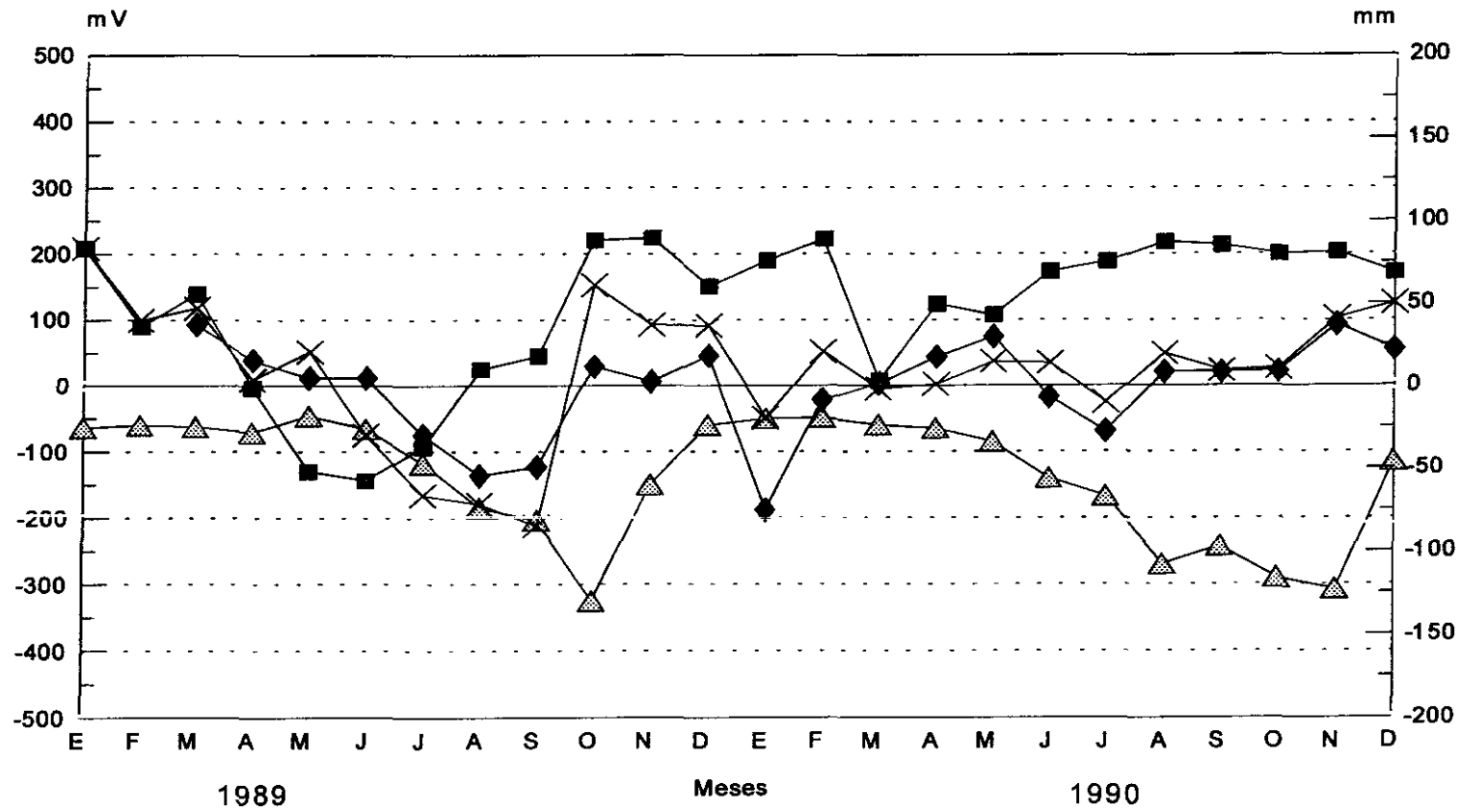


Fig.31.- Continuación



Cuadro 21.- Datos estadísticos del potencial redox en los suelos de la Laguna del Masegar (TO).

Laguna del Masegar Estación 5-Gleysol	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-100 cm
Nº Muestra	24	24	24	24	24	22
Media (mV)	188	160	153	115	24	-3
Desviación ST (mV)	51	106	60	115	163	74
Error ST (mV)	24	21	16	24	21	16
Máxima (mV)	268	299	269	224	209	93
Mínima (mV)	80	-98	10	-144	-212	-188
Rango (mV)	188	397	259	367	421	281

Los valores resultantes del análisis de regresión de los potenciales redox durante los dos ciclos anuales de los cinco niveles estudiados, expuestos en el cuadro 22, indican que sólo existe relación entre los electrodos más profundos (-50 cm y -100 cm), con un coeficiente de correlación de 0,75 ($R^2=56,7\%$). Los horizontes superficiales parecen tener respuestas temporales diferentes al potencial redox conforme cambian las condiciones climáticas (régimen y tipo de lluvia, temperaturas, etc), biológicas (períodos vegetativos y edafofauna), hídricas (período de saturación de agua) y edáficas (mayor o menor solubilidad de las sales, etc), aunque siempre dentro del rango de +300 a -100 mV que los caracteriza.

Respecto a la correlación entre los electrodos superficiales y el fósforo asimilable vuelve a ser sólo significativa en el nivel de -15/-20 cm ($C.Corr=-0,84$; $R^2=70,3\%$), al coincidir valores de Eh ligeramente elevados y pequeñas cantidades de fósforo asimilable (de 3,5 a 2,0 en 100 mg/100 g).

Como se advierte en el cuadro 22, no existe relación entre el porcentaje de nitrógeno total y el potencial redox. Además, no fue posible la correlación entre el nivel de -15/-20 cm y el electrodo de -20 cm. La ausencia de relación entre ambos parámetros parece responder a que este suelo presenta una mayor riqueza de compuestos susceptibles de ser reducidos. De este modo, se irán reduciendo los diversos compuestos en un orden determinado, conforme cambian las condiciones hidroedáficas, resultando un amplio rango de valores del *Eh*, siempre favorecidos por un nivel piezométrico próximo a la superficie, que permite que se desencadenen dichos procesos.

Cuadro 22.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -100 cm), niveles piezométricos, parámetros meteorológicos, nitrógeno total y fósforo asimilable. Laguna del Masegar, estación 5.

	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-100 cm
Eh (mV) a -2 cm	1,00					
Eh (mV) a -5 cm	0,20	1,00				
Eh (mV) a -10 cm	0,04	0,18	1,00			
Eh (mV) a -20 cm	-0,16	0,42	0,40	1,00		
Eh (mV) a -50 cm	0,05	0,19	0,07	0,54	1,00	
Eh (mV) a -100 cm	0,08	-0,04	-0,28	0,15	0,75	1,00
Nivel Piezométrico (cm)	-0,13	-0,38	-0,22	-0,45	-0,10	-0,07
Temperatura a -5 cm (°C)	-0,37	-0,37	-0,27	-0,51	-0,62	-0,35
Temperatura a -10 cm (°C)	-0,41	-0,30	-0,34	-0,44	-0,59	-0,32
Temperatura a -20 cm (°C)	-0,45	-0,33	-0,31	-0,43	-0,58	-0,31
Temperatura a -50 cm (°C)	-0,37	-0,37	-0,12	-0,56	-0,60	-0,33
Temperatura a -100 cm (°C)	-0,18	-0,23	-0,05	-0,53	-0,54	-0,32
Evaporación (mm)	-0,17	-0,27	-0,42	-0,61	0,41	0,12
Nitrógeno (%) < -15 cm		0,22	0,20			
Nitrógeno (%) -15 a -20 cm						
Nitrógeno (%) > -20 cm					-0,20	
Fósforo (mg/100 g) < -15 cm						
Fósforo de -15 a -20 cm				-0,84		
Fósforo (mg/100 g) > -20 cm					0,44	

- La estación 6 está situada dentro de la laguna del Masegar y, por tanto, expuesta a inundaciones periódicas de la lámina de agua, motivo por el cual, únicamente se pudieron muestrear 9 meses. Durante estos meses el nivel piezométrico se mantuvo con un mínimo en octubre (-72,5 cm), y máximos en marzo y abril con agua en superficie (+2 cm).

Los valores de Eh registrados presentan un amplísimo rango (de 716 a 961), con máximos próximos a +400 mV y mínimos que rondan los -550/-580 mV, como se advierte en el cuadro 23 y figura 32. Las medias suelen disminuir con la profundidad, excepto para los electrodos de -5 y -10 cm que con frecuencia tienen potenciales redox más elevados que a -2 cm, posiblemente ligado al mayor porcentaje de materia orgánica en el horizonte A, que coadyuva a la reducción.

Si durante buena parte del año, este suelo muestra potenciales redox similares a la estación 5 de la misma laguna, los meses de marzo y abril -con todo el perfil del suelo embebido en agua- tienen valores extraordinariamente bajos y son afectados todos los electrodos desde -2 cm a -100 cm de profundidad.

Cuadro 23.- Datos estadísticos del potencial Redox en los suelos de la Laguna del Masegar (TO), estación 6.

Laguna del Masegar Estación 6	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-100 cm
Nº Muestra	9	9	9	9	9	9
Media (mV)	35	48	60	-26	-30	-104
Desviación ST (mV)	337	332	322	312	305	345
Error ST (mV)	112	110	107	110	107	141
Máxima (mV)	334	382	302	257	202	200
Mínima (mV)	-546	-579	-579	-568	-514	-546
Rango (mV)	880	961	882	826	716	746

Como se advierte en el cuadro 24, el análisis de regresión entre los valores de Eh de los distintos electrodos durante los nueve meses de 1989 muestra coeficientes de correlación de signo positivo y muy altos, pues en ningún caso descienden de 0,87 (entre el electrodo de -5 cm y -50 cm; $R^2=76\%$), siendo entre electrodos contiguos de 0,90 (entre -10 cm y -20 cm; $R^2=82\%$) a 0,99 (entre -2 cm y -5 cm, y entre -50 cm y -100 cm; $R^2=97,6\%$). Esta estrecha relación viene condicionada seguramente por la situación hídrica de marzo y abril (recuérdese que gestionada por el hombre), que mantiene el suelo totalmente saturado de agua y favorece, primero de abajo a arriba, el ascenso de sales a los horizontes superficiales y, después de arriba a abajo, la precipitación progresiva de las mismas y de los nutrientes transportados desde la superficie, resultando en los meses posteriores al encharcamiento un suelo bastante homogéneo.

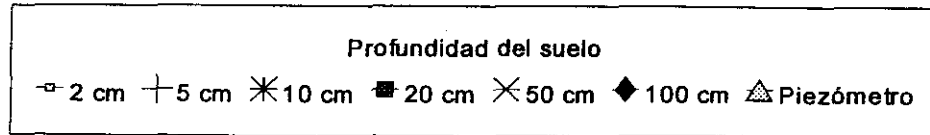
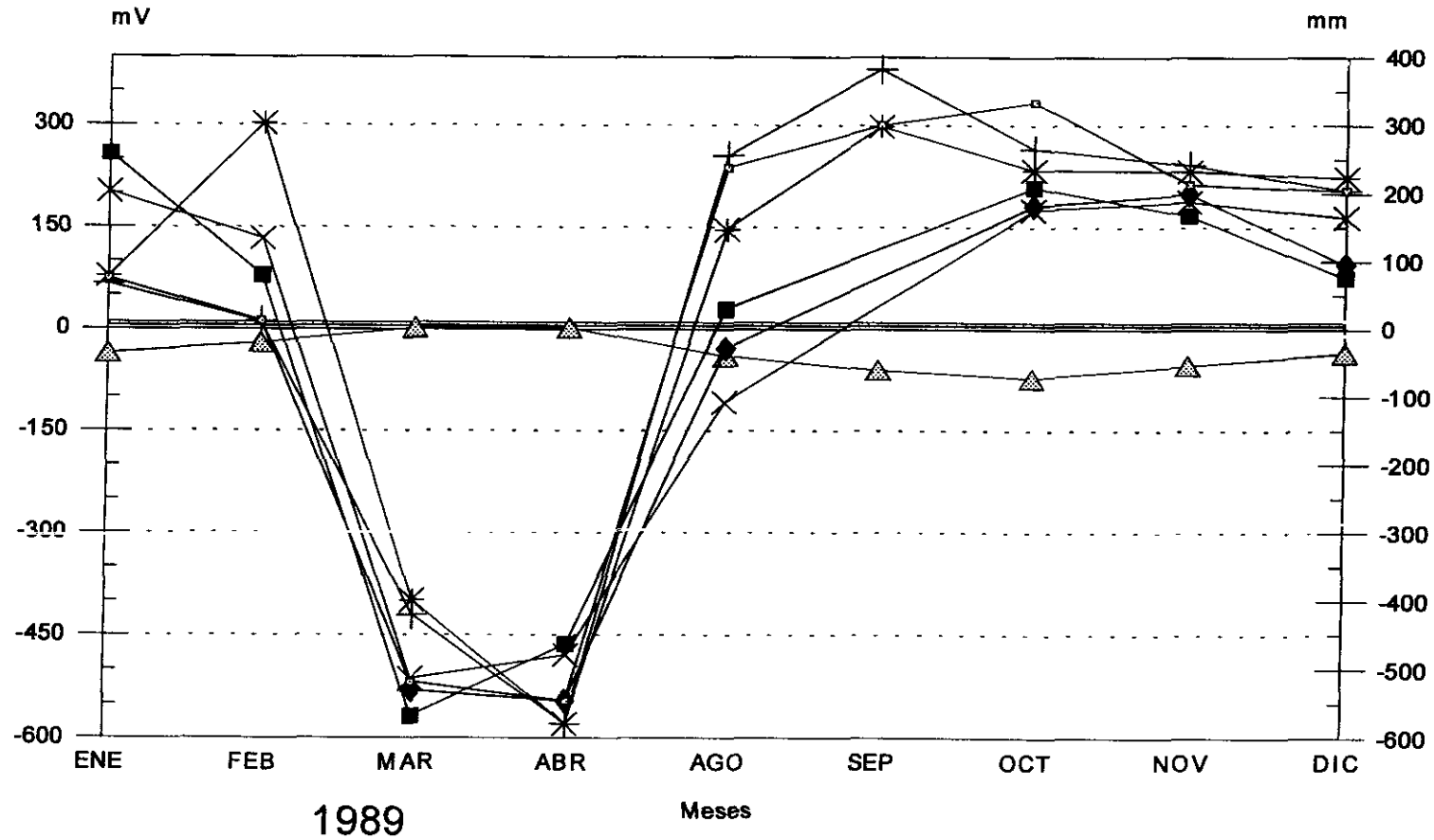
La buena redistribución de los diferentes componentes edáficos por el agua, queda reflejada en que es la única estación de las estudiadas que presenta una relación estadística con el nivel piezométrico, esto es, una respuesta del Eh inmediata a la saturación o aireación del suelo. Así, los coeficientes de correlación son muy altos, de signo negativo y mayores en superficie (de -0,92 a -0,79).

Cuadro 24.- Regresión múltiple entre los potenciales redox (de -2 cm a -100 cm), niveles piezométricos y parámetros meteorológicos. Laguna del Masegar, estación 6.

	Profundidad del electrodo					
	-2 cm	-5 cm	-10 cm	-20 cm	-50 cm	-100 cm
Eh (mV) a -2 cm	1,00					
Eh (mV) a -5 cm	0,99	1,00				
Eh (mV) a -10 cm	0,94	0,94	1,00			
Eh (mV) a -20 cm	0,93	0,90	0,90	1,00		
Eh (mV) a -50 cm	0,89	0,87	0,92	0,97	1,00	
Eh (mV) a -100 cm	0,97	0,96	0,98	0,99	0,99	1,00
Nivel Piezométrico	-0,92	-0,91	-0,78	-0,84	-0,79	-0,79

La correlación entre los potenciales redox estacionales y los porcentaje de nitrógeno total y fósforo asimilable no ha sido posible por la incompatibilidad de los valores.

Fig.32. - Potencial redox y nivel piezométrico de la laguna del Masegar. Estación 6.



III.6.4. Conclusiones

La división de los potenciales redox (Eh) en diferentes categorías se ha establecido en base a los rangos descritos por BOHN H.⁶⁵ y compartida por muchos autores (FAULKNER and PATRICK, 1992; WANG et al., 1993, etc.), aunque con matizaciones que se irán comentando. Así se obtiene:

- Los valores de *Eh* oxigenados ($> +400$ mV) y, por tanto, condiciones aerobias claras donde está garantizada la presencia de oxígeno libre, son ocasionales en las seis estaciones estudiadas, y se producen por encima de los -10 cm del suelo, debido principalmente a la actividad de la edafofauna y las raíces vegetales. La primera contribuye directamente a remover los horizontes superficiales y dotarlos de oxígeno. La segunda, tiene una doble función: una, como en el caso anterior, el crecimiento de las raíces favorece, a pequeña escala, a remover y oxigenar el suelo. Otra y más importante, que la mayor parte de las raíces de las plantas higrófilas "muestran un poder oxidante en la punta de las raíces como defensa contra la fitotoxicidad de la concentración de sustancias reducidas"⁶⁶, como demostraron los autores mencionados para el *Phragmites australis*.

En casi todos los suelos con vegetación halófila predominante (Salicornias, *Arthrocnemum*, etc.) la mayor oxigenación se da a -2 cm y -5 cm (regosol de Peña Hueca y gypsisol de la laguna Chica de Villacañas); mientras que en otros, con vegetación más higrófila (juncos, carrizos y masiega principalmente), con enraizamiento más profundo, el horizonte oxigenado es -10 cm (antrosol de la laguna Larga de Villacañas y gleysoles del Masegar).

Durante los dos ciclos anuales muestreados no se registraron valores oxigenados ($> +400$ mV) en los gleysoles (laguna del Masegar) y solonchak gléico (laguna Larga de Villacañas). Esto pone de manifiesto, la carencia general de oxígeno libre en los suelos con carácter gléico donde predominan los procesos reductores.

Existe un procedimiento americano, conocido como "WET" (Wetland Evaluation Technique, pero que también coincide con el distintivo de wetland), y elaborado por el COE (Army Corps of Engineers), el Servicio de Conservación de Suelos, La Agencia de Protección Medioambiental y el FWS (Fish and Wildlife Service) para determinar qué espacios son o no son "wetlands" (humedal o higrócora en la denominación española) y, poder así aplicarles las medidas protectoras correspondientes. Utiliza diversos criterios y uno de los edafológicos es el potencial redox (Eh). Según dicho procedimiento se excluyen los suelos que mantengan *Eh* $> +400$ mV durante dos años; esto implicaría una buena oxigenación, por lo general con un rango de $+400$ a $+700$ mV.

Bajo este criterio, todas las estaciones muestreadas del extremo SW de Toledo estarían

⁶⁵.-BOHN, H.L. (1971): Redox Potencial...Opus cit. pág. 42

⁶⁶.- FLESSA, H.; FISCHER, W.R. (1992): Redoxprozesse in der Rhizosphäre von Land- und Sumpfpflanzen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155 (5-6), pág.377.

clasificadas como "wetland" o higrocoras. Corresponden a las Lagunas Larga y Chica de Villacañas, la Laguna de Peña Hueca y la Laguna del Masegar.

- Los valores de *Eh moderadamente reducidos* (de +100 a +400 mV). Con un amplio intervalo, es el grupo más frecuente en todos los suelos muestreados y es el rango en el que se producen los primeros procesos reductores y principales procesos descontaminantes del suelo. La mayor parte de los autores coinciden en que por debajo de +300 mV/+350 mV o con valores de $O_2 < 50 \text{ ml/l}$ (5%) los suelos tienen capacidad reductora (FAULKNER et al., 1992; WANG et al., 1993; MEGONIGAL et al., 1993, etc.), esto es, de perder oxígeno o admitir electrones de diferentes compuestos, con una secuencia biológica u orden que suele coincidir en un amplio abanico de suelos. Según WANG et al. (1993) el orden de reducción sería:

- 1) a +350 mV: O_2
- 2) < 350 mV: NO_3^- a NO_2^- a N_2
- 3) < 350 mV: Mn^{4+} a Mn^{2+}
- 4) < 350 mV: Fe^{3+} a Fe^{2+}

Esta secuencia también está apoyada por MANSFELDT et al. (1991) y justifica, además, que "la reducción del manganeso siempre ocurre antes que la reducción del hierro"⁶⁷.

Para otros autores, sin embargo, el orden de reducción de los diferentes compuestos existentes en los suelos varía en función del pH (BUOL & REBERTUS, 1988), distinguiendo los suelos ácidos de los alcalinos o neutros. Para estos dos grupos la reducción se llevará a cabo según el siguiente orden:

Suelos ácidos		Suelos alcalinos o neutros	
1º	$O_2 \rightarrow H_2O$	1º	$O_2 \rightarrow H_2O$
2º	$Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$	2º	$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$
3º	$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$		$NO_2^- \rightarrow N_2O$
	$NO_2^- \rightarrow N_2O$		$N_2O \rightarrow NO$
	$N_2O \rightarrow NO$		$NO \rightarrow N_2$
	$NO \rightarrow N_2$	3º	$Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$
4º	$SO_4^{2-} \rightarrow SO_3^{2-}$		
	$SO_3^{2-} \rightarrow S^=$		
	$S^= \rightarrow SH_2$		
5º	$Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$	4º	$Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$

⁶⁷.- MANSFELDT, T.; JUNGFLIECH-BLESS, R.; BLUME, H.P.; SATTELMACHER, B. (1991): Einfluss des Redoxpotentials auf die Stoffdynamik einer jungen Kalkmarsch. (Influence of redox potential on the nutrient dynamics of a recent fluvio-calcareous-gleysol.) *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 66 (I), pág.356.

Debe resaltarse que el intervalo de +100 mV a +400 mV representa entre un 44/58 % de los valores obtenidos en los suelos con carácter gléico (gleysols y solonchaks gléicos) y asciende hasta el 70/85 % en los suelos sin dicho carácter; es decir, menos saturados en agua o con un período muy reducido (gypsisols, regosols y antrosols).

En estos suelos los valores más repetidos se encuentran en el intervalo de +200 a +300 mV, definido como el rango teórico donde se reducen los nitratos a nitritos (PATRICK et al., 1993; MALTBY, 1986; KAÚRICHEV, 1984; BOHN, 1971). Por el contrario, en los gleysols y solonchaks gléicos el intervalo más frecuente de este grupo desciende a +100 mV/+200 mV (entre el 30-34 %), predominando en él la reducción del manganeso y del hierro (KAÚRICHEV, 1984; BOHN, 1971). A este intervalo le sucede en frecuencia el de +200 a +300 mV (18-24 %), de modo que se combinan a lo largo del año la reducción de los distintos componentes del suelo, siempre que las parejas de las reacciones estén presentes.

- Los valores de *Eh reducidos* (de +100 a -100 mV) son los idóneos para que se produzca la reducción de sulfatos (KAÚRICHEV, 1984). A su vez, con dichos valores comienzan a producirse algunos componentes tóxicos para muchas plantas. Gran parte de los autores coinciden en que "cuando los componentes mencionados en el grupo anterior (nitratos, nitritos, manganeso, hierro, etc.) ya han sido reducidos se sucede la reducción de los sulfatos (SO_4^- a SO_3^-) y del cromo" (MASSCHELEYN et al., 1992; GARIST & SAVICH, 1992, etc). No obstante, como se vio anteriormente, este orden puede variar en función del pH del suelo y de los compuestos existentes en cada suelo.

El intervalo de +100 a -100 mV constituye entre un 10-25 % de los valores de los gypsisols, regosols y antrosols, y entre un 36,4-43,0 % de los mismos en gleysols y solonchaks gléicos.

Los valores reducidos, por lo general, son más frecuentes por debajo de los -20 cm del suelo, por la mayor frecuencia de saturación de agua y por la citada autodefensa de las plantas a la fitotoxicidad de la concentración de sustancias reductoras. Pero sólo en aquéllos con un claro carácter gléico dicha frecuencia aumenta con la profundidad (gleysols y solonchaks). De modo que, en ambos, el nivel piezométrico condiciona directamente los valores reductores del Eh. Por el contrario, en los demás suelos muestreados, la reducción ocasional se debe al mayor aporte de agua y humedad invernal (gypsisol de la laguna Chica de Villacañas) o a un horizonte más permeable (regosol de la laguna de Peña Hueca).

- Los valores de *Eh muy reducidos* (< -100 mV) . Los potenciales redox tan bajos suelen señalar en el nivel teórico de presencia de sulfuros (a -170 mV según WANG et al., 1993) y producción de metano (CH_4 con un Eh entre -150 y -230 mV a pH de 6,6 a 7, según los mismos autores). No obstante, no se ha encontrado información alguna sobre Eh < -100 mV en suelos alcalinos.

En tres de las seis estaciones analizadas los valores inferiores a -100 mV se producen con mayor frecuencia que los oxigenados, siendo aquéllas en las lagunas del Masegar y Larga de Villacañas. Tanto espacial como temporalmente presentan una clara correspondencia con

el carácter gléico de los suelos, representando una condición necesaria para obtener un rango de valores tan bajo. Así, los que presentan Eh muy reducidos durante períodos de tiempo más largos son en los que se advierte hidromorfía durante más meses; esto es, en los gleysoles del Masegar (del 5,6 al 32%). Cabe puntualizar que, cuando el suelo muestreado se localiza fuera del vaso lagunar, los $Eh < -100$ mV sólo se producen por debajo de -20 cm. Sin embargo, en los realizados dentro del mismo se obtienen valores de Eh extremadamente reducidos: de -500 a -600 mV en todos los horizontes del suelo. Estos valores se produjeron dentro de la laguna del Masegar durante los meses de marzo y abril de 1989 y sólo puede explicarse por la suma de un conjunto de condiciones favorables a la reducción extrema de los suelos, entre las que se citan como principales responsables de los valores extremos del Eh las siguientes:

- a) Temperaturas en el suelo siempre por encima de los 8°C (con medias entre 8,6-10,9°C en marzo y de 9,1-12,2°C en abril dentro de un metro de profundidad).
- b) El suelo se mantuvo embebido en agua cerca de 60 días, bajo una lámina de +2 cm de agua. Los valores inferiores a -500 mV se observaron a partir de los 10-12 días de la inundación y se mantuvieron al menos 4 semanas.
- c) Altos contenidos de materia orgánica en superficie (7,18⁶⁸), cuya presencia acelera los procesos de reducción (DOBERMANN et al., 1989; VELOSO et al., 1993).
- d) Predominio de pH ligeramente alcalinos, con lo que "la reducción se produce con valores más bajos del potencial redox, puesto que la desoxidación de los compuestos, a costa de los iones de hidrógeno, está limitada"⁶⁹.

Aunque se conoce, que en condiciones naturales los procesos de oxidación-reducción pueden ocurrir en un rango de +600 a -600 mV (GARIST et al., 1992), rango extensible en los valores aerobios hasta +800 mV (FAULKNER et al., 1992), son pocas las citas de Eh en suelos inferiores a -350 mV de las que se tenga conocimiento. No obstante, en medidas de Eh en agua DREVER (1988) señala un rango entre +1.000 y -500 mV, en el cual, con valores en torno a -500 mV (observados en el Masegar durante marzo y abril de 1989 en un suelo totalmente embebido en agua), son características las reacciones de fermentación, tal y como se describen en el esquema adjunto:

⁶⁸.- SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, A. (1993): *Características edáficas y repercusiones paisajísticas en dos humedales manchegos*. Trabajo de investigación de Doctorado. Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Madrid. Pág.13.

⁶⁹.- KAÚRICHEV (1984): *Prácticas de ...* Opus cit., pág.191.

Eh (V)	p.e. ⁷⁰	
+1,0	15	
	10	O_2/H_2O
		NO_3^-/N_2
+0,5	5	NO_3^-
		$/NH_4^+$
0,0	0	
	-5	SO_4^{2-}/SH_2 Reacciones
		CO_2/CH_4 de
-0,5		H_2O/H_2 Fermentación
	-10	

Experimentalmente, algunos trabajos van encaminados a desvelar el orden de reducción de metales tales como cromo, cobre y cadmio, (GARIST et al., 1992). Otros tratan de averiguar bajo qué condiciones se producen los mínimos Eh (VELOSO et al., 1993), y para gleysoles de Río de Janeiro las atribuyen siempre a horizontes superficiales -A-, con alto contenido en materia orgánica y una saturación de agua de 24 semanas, a consecuencia de la pérdida de capacidad de oxigenación de las raíces.

Respecto a datos recogidos en campo, sólo se tiene noticia con los valores mencionados el trabajo de SHARMA et al. (1991), realizado en la India en suelos dedicados al cultivo de arroz. En él se expone que el Eh desciende rápidamente durante los diez primeros días de inundación del suelo y después permanece en torno a -200 mV durante unos 60 días.

Frente a estos Eh tan bajos, cuando los síntomas de hidromorfía son ocasionales también disminuyen considerablemente los períodos con Eh inferior a -100 mV (gypsisoles de la Chica de Villacañas) y tienen lugar siempre por debajo de los -20 cm desde la superficie. No se obtiene ningún valor inferior a -100 mV en los suelos de Peña Hueca y antrosols de la laguna Larga de Villacañas. Por ello, se cree que es evidente la correlación del Eh con el nivel piezométrico, al menos condiciona el rango posible. Pero para que se den valores < -200 mV es necesario que concurren condiciones muy especiales, como las señaladas arriba.

- Debe destacarse cierta estacionalidad en las condiciones anaerobias, considerando como tales no sólo las reducciones extremas sino valores por debajo de +200/+150 mV, que se dan en épocas opuestas según los diferentes suelos analizados y su emplazamiento:

a.- Las condiciones anaerobias predominan de otoño a primavera, siendo máxima en invierno, en gypsisoles de la laguna Chica de Villacañas, (nivel piezométrico mínimo en verano y máximo en invierno).

⁷⁰.- p.e. es el potencial electrónico, el cual a 25°C=16,9 Eh y Eh=0,059 p.e.

b.- Las condiciones citadas arriba predominan de primavera a otoño en gleysoles y solonchaks; esto es, en las lagunas de Villacañas Larga y Masegar. (nivel piezométrico mínimo a finales del verano u otoño y máximo en invierno-primavera).

En el primer caso, los Eh reducidos (< -100 mV) se producen siempre durante el invierno y se corresponden con las máximas condiciones de humedad en el suelo (rocío, escarcha, nieblas, etc) y temperaturas en el suelo bastante bajas (medias inferiores a 5°C al menos dos meses al año hasta los -20 cm desde la superficie y mínimas que rondan esa temperatura hasta -50 cm), como se observa en el cuadro 25.

Cuadro 25.- Temperaturas del suelo medias durante los inviernos de 1989, 1990 y 1991.
Villafranca de Los Caballeros (Toledo).

Meses	Profundidad	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
		Mínima	Máxima	Media
Enero	- 5 cm	-0,7	7,3	2,7
	-10 cm	0,5	7,5	3,5
	-20 cm	1,6	7,3	4,1
	-50 cm	5,1	8,6	6,9
	-100 cm	7,4	10,3	8,8
Febrero	-5 cm	0,5	8,1	4,5
	-10 cm	1,6	8,2	5,0
	-20 cm	2,8	8,3	5,7
	-50 cm	5,2	8,9	7,7
	-100 cm	8,7	9,2	7,9
Diciembre	-5 cm	0,9	9,6	5,2
	-10 cm	2,1	9,7	5,6
	-20 cm	3,3	9,3	6,2
	-50 cm	6,3	10,4	8,9
	-100 cm	11,4	14,0	12,8

En el segundo caso, el período reductor se corresponde con temperaturas en el suelo siempre superiores a 5°C . Esta temperatura se considera como "límite para que se ponga en funcionamiento la actividad microbiana (MEGONIGAL et al., 1993) y, en general, el período de mayor crecimiento vegetativo se inicia por encima de los 7°C .

Por ello, para entender los ciclos del potencial redox y sus posibles repercusiones en la mayor nitrificación-denitrificación de los suelos, esto es, en la capacidad desintoxicadora de los mismos, debe tenerse presente cuándo suceden los valores bajos de Eh. Puesto que, si ocurren frecuentemente en invierno con temperaturas por debajo de 5°C , propias del sector

manchego estudiado, aunque el Eh sea muy bajo no serán reducidos ni admitidos ningún electrón del suelo, puesto que la actividad o respiración bacteriana es insignificante. Por el contrario, cuando los valores bajos del Eh coinciden con la estación de crecimiento (primavera a otoño) sí se corresponden con estados reductores y con una clara actividad por parte de los microorganismos.

No obstante, la importante actuación del hombre en estos entornos podría inclinarse a una gestión adecuada de los suelos de las higrocoras y de sus entornos, muy favorables a los procesos oxido-reductores y no aptos para el cultivo o de muy escasa productividad (solonchaks, gleysols, gypsisols, etc). Dicha gestión debería estar encaminada, desde el punto de vista edáfico a :

- No transformar drásticamente la morfología de estos parajes, aparentemente de escaso valor por la prioridad "actual" de áreas agrestes o de mayores diferencias topográficas, sin entender que tienen otros valores sin que necesariamente sean de carácter bióticos.

- Mantener los niveles hídricos necesarios para que se sucedan a lo largo del año las diferentes etapas del potencial redox y, en definitiva, contribuir a facilitar la capacidad de estos suelos para eliminar de forma natural algunos de los principales iones contaminantes (de nitrógeno, hierro, sulfatos, manganeso, cromo, etc).

III.7. ANÁLISIS DE LAS TIRAS DE ALGODÓN COMO MÉTODO PARA ESTUDIAR LA DESCOMPOSICIÓN DE LA CELULOSA EN LOS SUELOS

III.7.1. INTRODUCCIÓN

El análisis de las tiras de algodón es utilizado con el fin de obtener la medida de la rapidez con que se descompone la celulosa, empleada como indicador de las variaciones mensuales, estacionales y anuales de la actividad microbiana existente en el suelo superficial. Constituye uno de los aspectos más novedosos por cuanto que no se tiene noticia de que se haya utilizado anteriormente por ningún investigador en España. No obstante, existen datos de otras latitudes con las que es posible comparar.

La pérdida de fuerza tensil de las tiras de algodón se utiliza como índice de descomposición, teóricamente debida a los microorganismos. Este método ha sido defendido por numerosos autores (MALTBY, 1987; LATTE, BANCROFT y GILLESIE, 1987; LATTE y WALTON, 1988, etc.) y, criticado por algunos, que señalan los problemas ocasionados por la cementación (FRENCH, 1988); por otros, que explican la pérdida de esfuerzo tensil por aspectos climáticos y de latitud (INELSON, BACON & LINDE, 1988), o alegan que las variaciones de tensión no pueden relacionarse directamente con los procesos bioquímicos y los ciclos de nutrientes, ya que intervienen otra serie de procesos fisiológicos

en el suelo (HOWARD, 1988)⁷¹.

Aquí, a la luz del muestreo sistemático de las tiras de algodón en los suelos antes descritos, se tratará de analizar si el método, detalladamente estudiado y válido en otras áreas húmedas (de la orla templada y tropical principalmente), es igualmente útil en las higrocoras manchegas y, analizar, en definitiva a qué responde la pérdida tensil de las tiras: a la actividad de microorganismos, a cambios de humedad, de temperatura, de contaminantes del suelo, a la dinámica de nutrientes, etc.

El muestreo se llevó a cabo durante dos ciclos anuales completos entre 1989, 1990 y parte de 1991, con medidas mensuales o bimensuales, en función de la mayor o menor descomposición. Se establecieron cinco estaciones de muestreo situadas en los suelos de borde de las lagunas del extremo SE de Toledo:

- 1.- Laguna Chica de Villacañas: gypsisol háplico.
- 2.- Laguna Larga de Villacañas: solonchak gléico.
- 3.- Laguna Larga de Villacañas: antrosol.
- 4.- Laguna de Peña Hueca: regosol/luvisol.
- 5.- Laguna del Masegar: gleysol móllico.

III.7.2. METODOLOGÍA

El método fue descrito en detalle por LATTER, WALTON y HARRINSON en 1988. Consiste en introducir en el suelo de ocho a diez tiras de algodón de fabricación y medidas estandarizadas (12 x 30 cm), las cuales se dejan varias semanas -ajustando el tiempo de exposición de las tiras en función de la rapidez con que son destruidas por los diferentes microorganismos-. Este será uno de los principales problemas metodológicos.

Una vez extraídas del campo, se lavan con agua destilada, se cortan cada 2 cm y se secan a menos de 60°C, midiéndose en un tensiómetro la resistencia de cada una de ellas (kg/cm²).

Los datos obtenidos se transforman en porcentajes de pérdida de tensión por día (%PT/día), a partir de una tira de algodón de referencia (100%), -colocada en el mismo suelo que las restantes y sometida al esfuerzo de extracción, y al manipulado por lavado, secado, etc., pero sólo expuesta en el suelo durante unos 15 minutos. Así, el valor final para cada profundidad y período de exposición es la media aritmética de las 8 o 10 tiras de algodón expresadas en % PT/día (días de exposición en el campo). Cuando se ha expuesto 30 días y el consumo ha sido total, luego la pérdida del 100%, $100/30 = 3,3 \text{ \%PTd}^{-1}$. El valor mínimo, evidentemente, es de 0, en el caso de que no haya sido en absoluto descompuesta. El método presenta, pues, una debilidad: la de que no se marca la duración de exposición, que podría ser de 10 días solamente, y, en el caso de una consumición total por parte de los

⁷¹.- Los autores citados en éste párrafo defienden sus tesis en diferentes artículos, recopilados y editados en un libro por: HARRINSON, A.F.; LATTER, P.M. and WALTON, D.W.H. (1988): *Cotton strip assay: an index of decomposition in soil*. Inst. of Terrestrial Ecology, Great Britain.

microorganismos, la PTd^{-1} sería del 10%.

Tampoco tiene el método una respuesta clara y precisa a la velocidad de descomposición, pues se halla un valor medio en porcentaje para un período que no es constante. Por ello se recomienda, a efectos de ponderar mejor los valores obtenidos agregar el número de días de exposición entre paréntesis para cada dato, lo que ayuda notablemente a relativizar y sopesar el citado valor.

III.7.3. OBSERVACIONES

El tiempo de exposición óptimo de las tiras de algodón en los suelos de borde de las lagunas manchegas, oscila entre 3 semanas, en los períodos de mayor descomposición (primavera o verano), y 8 semanas, cuando las bajas temperaturas generales del invierno o la falta de humedad del verano en algunos suelos hacen mínima dicha descomposición.

Aquí se han encontrado problemas de cementación en los gypsisoles de la laguna Chica de Villacañas y regosoles de Peña Hueca, debido a la fuerte evapotranspiración estival y ausencia de agua subsuperficial (por debajo de -2 m), imposibilitando la recogida de las tiras de algodón del campo durante el largo estío (de mayo/junio a septiembre). Sin embargo, pese a que se expusieron durante 116 y 88 días respectivamente, sí pudieron medirse, gracias a que la descomposición en estas condiciones xéricas son muy bajas ($< 1,1\%PTd^{-1}$).

III.7.4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

III.7.4.1. *Valores absolutos, valores medios y rangos observados en los suelos manchegos del sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela (Toledo).*

En los cuatro suelos descritos anteriormente, los valores de descomposición de la celulosa se encuentran en un rango que oscila entre $0,11\% PTd^{-1}$ (porcentaje de pérdida de fuerza tensil de las tiras de algodón por día) en el regosol/luvisol de Peña Hueca y $3,66\% PTd^{-1}$ en el antrosol de Villacañas, ambos a -21/-23 cm desde la superficie. Estos valores, comparados con los registrados en suelos de otras higrocoras españolas (marismas del Guadalquivir, Parque Natural del Entorno de Doñana), no expuestos a inundaciones periódicas, pueden considerarse normales.

No obstante, cuando se trata de suelos con verdaderos ciclos de inundación-desección anuales o estacionales, como los canales de las citadas marismas, los valores de $\%PTd^{-1}$ llegan a ser muy superiores especialmente durante el verano, cuando las cifras se mueven de 9 a $16\%^{72}$.

Como se observa en el cuadro 26, los valores medios reflejan claras diferencias entre las cuatro higrocoras, desde valores muy bajos en el regosol-luvisol de Peña Hueca

⁷². - SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ GONZÁLEZ, M^a.E. (1992): *Dinámica de nutrientes y evaluación funcional de ciertos ecosistemas de humedales españoles*. Univ. Complutense, Dpto de Análisis G.R. y Geografía Física. Madrid. Inédito, pág.128.

(0,91 %PTd⁻¹) a los más elevados en el antrosol de Villacañas (2,32 %PTd⁻¹), y son los mismos suelos los que registran los valores mínimos y máximos respectivamente.

Cuadro 26.- Valores medios, máximos y mínimos de %PTd⁻¹.

	Mínimo Absoluto (%PTd ⁻¹)	Máximo Absoluto (%PTd ⁻¹)	Media (%PTd ⁻¹)
Chica Villacañas (Gypsisol)	0,32 (15-17 cm)	2,04 (3-5 cm)	1,11
Peña Hueca (Regosol/Luvisol)	0,11 (21-23 cm)	2,75 (3-8 cm)	0,91
Villacañas Larga (Solonchak)	0,44 (15-17 cm)	2,81 (3-5 cm)	1,36
Villacañas Larga (Antrosol)	1,28 (18-20 cm)	3,66 (21-23 cm)	2,32
Masegar (Gleysol)	0,13 (15-17 cm)	2,52 (6-8 cm)	1,15

III.7.4.2. Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo.

En general, la pérdida de tensión de las tiras es mayor en los primeros centímetros del suelo desde la superficie (de 0 a 5 cm). No obstante, en las figuras 33-37 pueden observarse ligeras diferencias entre los distintos suelos, como respuesta a la vegetación que soporta cada uno y a sus distintos ciclos anuales. Así, se distinguen varios comportamientos de la actividad microbiana a través de la descomposición de la celulosa:

a) En el gypsisol de Villacañas y regosol-luvisol de Peña Hueca (fig. 33 y 34 respectivamente), se observa durante el período vegetativo (primavera y otoño) la mayor descomposición en el nivel -3/-5 cm (1,5-2,8 %PTd⁻¹), descendiendo progresivamente con la profundidad, aunque es frecuente que por debajo de los -15 cm se advierta un ligero incremento, nunca superior al valor de -3/-5 cm.

Los dos suelos presentan una vegetación predominante de gramíneas y plantas halófilas, ambas con escasa profundización de las raíces y probablemente será el nivel -3/-5 cm de de mayor actividad de microorganismos.

Los dos suelos muestran en invierno y verano porcentajes de descomposición insignificantes y valores prácticamente iguales en todo el perfil (< 1 %PTd⁻¹), reflejándose en las figuras 33 y 34 con líneas verticales casi perfectas. Esto es debido a las bajas temperaturas de los meses centrales del invierno (recuérdese que las temperaturas medias no alcanzan los 7°C) y falta de agua en el suelo durante la estación estival.

b) En el gleysol del Masegar y solonchak de Villacañas, con vegetación predominante de carrizos-masiega y *Schoenus nigricans* respectivamente se presenta un el período vegetativo de primavera a otoño, incluyendo el verano, gracias al carácter gléico de los suelos con niveles de agua subsuperficial por encima del metro de profundidad durante todo el año.

La tendencia de la descomposición, reflejada en las figuras 35 y 36, es mostrar valores máximos en superficie (0-2 cm) durante la primavera (del 18-V al 15-VI) e ir descendiendo al nivel -3/-5 cm, -6/-8 cm y -9/-11 cm durante el verano y otoño (del 15-VI al 2-VIII y del 11-IX al 17-XI respectivamente). Esto puede ser debido a la mayor disponibilidad de

nutrientes y consumo por parte de los microorganismos, primero en superficie y continuando a niveles algo inferiores a medida que avanza el ciclo vegetativo. Sin embargo, este ciclo puede adelantarse o retrasarse en función de la climatología, en especial por las temperaturas y humedad.

En todos los casos, la descomposición disminuye con la profundidad, y aunque, como en los suelos anteriores, presente una ligera inflexión hacia valores más altos a partir de -12/-14 cm ó -15/-17 cm no suelen sobrepasar el valor de superficie, más elevado.

En los dos suelos -gleysol y solonchak- el invierno también muestra valores muy bajos, por lo general inferiores a 1 %PTd⁻¹. Pero, gracias a la humedad mucho más constante y elevada en superficie, y a la mayor cubierta vegetal, la descomposición en los primeros 5 cm del suelo puede alcanzar en esta época el valor de 1,8 %PTd⁻¹.

c) El antrosol de Villacañas, con valores en todo el perfil muy por encima de los demás suelos (de 1,28 a 3,66 %PTd⁻¹) presenta, por lo general, valores máximos en el nivel de -3/-5 cm y sólo durante el verano describe una inflexión a valores mayores a -18/-20 cm. (Fig.37).

III.7.4.3. *Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales.*

En las cinco estaciones analizadas los valores más bajos de pérdida tensil de las tiras de algodón se observan en invierno, pudiéndose extender desde finales del otoño, (figs 38-42). Cabe destacar que los valores de %PTd⁻¹ de todo el perfil estudiado (23 cm superficiales) fueron inferiores en el invierno de 1989, más frío y húmedo que los posteriores de 1990 y 1991. Esto nos indica que la temperatura es el principal condicionante para iniciar la actividad vegetativa y, una vez asegurado un mínimo calórico (> 5-6°C) el factor limitante pasa a ser la humedad o disponibilidad de agua. Durante el verano, la elevada evaporación y agotamiento del agua provocan una elevada concentración de sales que determinaran la imposibilidad de vida.

Los valores más altos de PTd⁻¹, con mayor variabilidad temporal que los mínimos, se producen siempre durante el período vegetativo, esto es, en los suelos del Masegar y laguna Larga de Villacañas de primavera a otoño (figs. 40-42), mientras que en los gypsisoles de Villacañas Chica (fig.38) y regosoles Peña Hueca (fig.39) apenas presentan actividad en verano debido al gran déficit hídrico (de 0,69 a 0,80 %PTd⁻¹ y de 0,96 a 1,29 %PTd⁻¹ respectivamente).

Los valores de descomposición durante los dos ciclos anuales son superiores en los suelos del Masegar y laguna Larga de Villacañas a los de Peña Hueca y Villacañas Chica, debido al carácter gléico de los primeros, que viene favorecido especialmente durante el verano por mantener las dos lagunas una somera lámina de agua. Así, bajo un mesoclima similar (el higronómico como se apuntó en el apartado I.9), las variaciones microclimáticas del Masegar (higronómico de valle, esto es, húmedo y deprimido) dan lugar a un mayor grado de agua y/o humedad en todo el perfil del suelo a lo largo del año. Esto facilita un mejor desarrollo y proliferación de los microorganismos, que en definitiva, serán los principales responsables de la descomposición de la celulosa. La inmediata respuesta paisajística es una mayor masa vegetal.

Dentro de los suelos con hidromorfía la descomposición de la celulosa es máxima en los que están lavados frecuentemente por aguas contaminadas (Laguna de Villacañas Larga con %PTd⁻¹ entre 0,44-3,66). Los valores de %PTd⁻¹ disminuyen considerablemente en los gleysols del Masegar con similar carácter gléico, pero sin contaminar (entre 0,13-2,52 % PTd⁻¹).

III.7.4.4. *Influencia de los factores meteorológicos en la descomposición de las tiras de algodón.*

La descomposición de la celulosa tiene una estrecha vinculación con el tiempo atmosférico, pues éste, en definitiva, será un factor determinante en la duración e intensidad del período vegetativo y, por ende, de la actividad de los microorganismos (INELSON et al., 1988).

En este apartado, al disponer de datos meteorológicos diarios de un área muy cercana a las estaciones de muestreo (Villafranca de los Caballeros, Toledo), se han relacionado los datos de pérdida tensil por día de las tiras de algodón a distintas profundidades (0-2 cm, 3-5 cm, ..., 21-23 cm, etc) con las medias diarias de los parámetros del tiempo que se consideran aquí más influyen en la descomposición de las tiras de algodón: temperaturas del suelo (a -5 cm, -10 cm y -20 cm), evaporación y precipitación (prácticamente toda en forma de lluvia).

Los resultados se expresan en cinco matrices de correlación (cuadros 27-31), una por cada estación de muestreo, situadas en los suelos descritos en el apartado III.3.

III.7.4.5. *Influencia de la temperatura.*

Junto a las matrices de correlación se han representado gráficamente las curvas de PTd⁻¹ y temperaturas más significativas (fig. 43). En base a ello, se llega a las siguientes conclusiones:

a) El análisis de regresión entre ambos parámetros apuntan un coeficiente de correlación desigual entre las cinco estaciones: alto, en los suelos del Masegar (C.C.=0,47-0,75; R²=22-57%) y solonchak de Villacañas (C.C.=0,74-0,89; R²=55-80%); medio, en el gypsisol de Villacañas (C.C.=0,5-0,6; R²=26-32%) y, muy bajo (R²<15%) en el Regosol/luvisol de Peña Hueca, con la excepción del nivel -15/-17 cm que sí parece mostrar relación con la temperatura a -20 cm (C.C.=0,74; R²=55%).

Las correlaciones realizadas muestran que la temperatura por sí sola explica entre el 25 y el 80% de la descomposición de la celulosa a lo largo del año en la mayoría de los suelos analizados. Estos valores están en consonancia con los ofrecidos por INESON et al. (1988), los cuales, en un estudio estadístico sobre 329 pruebas de descomposición de las tiras de algodón en diferentes zonas del globo atribuyeron a la temperatura entre el 36 y el 72% de la pérdida tensil de las tiras.

b) En todas las estaciones las curvas de pérdida tensil por día y la temperatura media son muy similares durante el invierno y el período vegetativo de cada una de ellas (condicionado por la humedad). Así, las temperaturas bajas del invierno se traducen en bajos %PTd⁻¹, y el aumento de la misma en primavera tiene una respuesta similar en la

descomposición de la celulosa.

Sin embargo, durante el verano, el alejamiento de los dos parámetros es máximo en Peña Hueca (cuadro 28) y Villacañas Chica (cuadro 27) y mínimo en el Masegar y Villacañas Larga (cuadros 30 y 31) debido a la mayor falta de agua y/o humedad de las primeras.

c) En el antrosol de la laguna Larga de Villacañas, con valores muy altos de descomposición, no se observaron correlaciones con la temperatura media, posiblemente debido a la influencia de los contaminantes sobre la actividad microbiana, que dispara los valores de PTd^{-1} . A esto se le añade que los horizontes superficiales están removidos por el hombre y, por tanto, presentarán temperaturas edáficas sensiblemente diferentes a las mismas en suelos no alterados. (Cuadro 29)

Cuadro 27.- Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna Chica de Villacañas (gypsisol).

	%PTd ⁻¹						Temperatura Suelo(°C)			Lluvia	Evap
	0-2cm	3-5cm	6-8cm	9-11	12-14	15-17	-5cm	-10cm	-20cm	(mm)	(mm)
0-2	1,00										
3-5	0,86	1,00									
6-8	0,73	0,72	1,00								
9-11	0,69	0,62	0,91	1,00							
12-14	0,61	0,48	0,76	0,90	1,00						
15-17	0,16	-0,14	0,57	0,83	0,98	1,00					
T-5cm	0,25	0,25	0,50	0,53	0,42	0,59	1,00				
T-10	0,24	0,24	0,50	0,53	0,41	0,58	0,99	1,00			
T-20	0,25	0,25	0,52	0,55	0,42	0,56	0,99	0,99	1,00		
LLUV	-0,03	-0,17	-0,10	-0,27	-0,32	-0,58	-0,08	-0,09	-0,11	1,00	
Evapor	0,16	0,23	0,37	0,43	0,29	0,42	0,92	0,93	0,93	-0,27	1,00

7.4.6. Influencia de la lluvia.

Como se observa en los cuadros 27-31, la relación de la descomposición de las tiras de algodón con la lluvia es muy desigual entre las distintas estaciones y pueden englobarse bajo tres comportamientos diferentes.

a) Las estaciones situadas en las lagunas de Peña Hueca y Villacañas Chica muestran coeficientes de correlación de signo negativo, muy bajos o insignificantes en superficie (-0,03 a 0/-2 cm), y se incrementan en ambas con la profundidad (-0,41 a -12/-14 cm en Peña Hueca y -0,58 a -15/-17 cm en Villacañas Chica), hasta explicar en torno al 17-34% de las variaciones anuales respectivamente, (cuadros 27 y 28). El signo negativo nos indica que los valores más altos de descomposición no se corresponden con los de mayor pluviometría, esto es, en invierno. A su vez, la nula correlación en los 10 cm de superficie parece responder, en suelos con un gran déficit hídrico (especialmente estival), a que están expuestos con mayor intensidad a otros factores (evapotranspiración, concentración de sales, etc.).

b) Las estaciones del Masegar (gleysol) y Villacañas Larga (antrosol) no presentan ninguna relación entre el %PTd⁻¹ y la lluvia o es muy baja ($<0,30$; $R_2=9\%$). Aunque con resultado similar, la ausencia de correlación es debida a causas muy diferentes; en el gleysol, es más importante la humedad aportada por las aguas subsuperficiales que la atmosférica, por lo que, no muestra apenas respuesta ante las escasas e irregulares lluvias. La falta de correlación en el antrosol debe atribuirse además al incremento de la permeabilidad tras la alteración de los horizontes superficiales. (Cuadro 29).

c) El solonchak gléico de Villacañas es el suelo que muestra la mayor correlación entre la descomposición de la celulosa y la lluvia (de 0,36 a 0,63), posiblemente debido al dominio textural arcilloso, con mayor capacidad de retención del agua de lluvia, (cuadro 30). Así, frente al gleysol del Masegar este suelo, evidentemente más húmedo, tiene un rango de %PTd⁻¹ más elevado.

Cuadro 28.-Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteóricos más importantes. Laguna de Peña Hueca (Regosol).

	%PTd ⁻¹						Temperatura Suelo(°C)			Lluvia	EVPR
	0-2cm	3-5cm	6-8cm	9-11	12-14	15-17	-5cm	-10cm	-20cm	(mm)	(mm)
0-2	1,00										
3-5	0,92	1,00									
6-8	0,89	0,95	1,00								
9-11	0,85	0,93	0,97	1,00							
12-14	0,59	0,74	0,75	0,87	1,00						
15-17	0,45	0,74	0,77	0,95	0,91	1,00					
T-5cm	-0,13	-0,02	0,06	0,18	0,39	0,76	1,00				
T-10	-0,13	-0,01	0,08	0,20	0,39	0,75	0,99	1,00			
T-20	-0,13	-0,02	0,07	0,19	0,39	0,74	0,99	0,99	1,00		
LLUV	-0,06	-0,23	-0,27	-0,32	-0,41	-0,26	-0,22	-0,24	-0,28	1,00	
Evapor	-0,01	0,06	0,15	0,24	0,30	0,50	0,55	0,56	0,60	-0,42	1,00

Cuadro 29.- Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteóricos más importantes. Laguna Larga de Villacañas (Antrosol).

	%PTd ⁻¹					Temperatura Suelo(°C)			Lluvia	EVPR
	0-2cm	3-5cm	6-8cm	9-11	12-14	-5cm	-10cm	-20cm	(mm)	(mm)
0-2	1,00									
3-5	0,78	1,00								
6-8	0,76	0,90	1,00							
9-11	0,48	0,84	0,90	1,00						
12-14	0,66	0,79	0,97	0,89	1,00					
T-5cm	-0,06	0,22	-0,13	0,05	-0,26	1,00				
T-10	-0,05	0,24	-0,12	0,06	-0,25	0,99	1,00			
T-20	-0,07	0,21	-0,14	0,04	-0,26	0,99	0,99	1,00		
LLUV	0,23	-0,10	-0,18	-0,30	-0,19	0,33	0,31	0,31	1,00	
Evapor	-0,17	0,24	-0,12	0,09	-0,25	0,96	0,96	0,96	0,12	1,00

Cuadro 30.- Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna Larga de Villacañas (Solonchak).

	%PTd ⁻¹						Temperatura Suelo(°C)			Lluvia	EVPR
	0-2cm	3-5cm	6-8cm	9-11	12-14	15-17	-5cm	-10cm	-20cm	(mm)	(mm)
0-2	1,00										
3-5	0,69	1,00									
6-8	0,16	0,42	1,00								
9-11	-0,04	0,30	0,95	1,00							
12-14	-0,06	0,22	0,94	0,95	1,00						
15-17	0,19	0,37	0,68	0,77	0,51	1,00					
T-5cm	-0,20	0,08	0,80	0,89	0,75	0,89	1,00				
T-10	-0,21	0,07	0,79	0,89	0,74	0,89	0,99	1,00			
T-20	-0,23	0,05	0,79	0,89	0,74	0,88	0,99	0,99	1,00		
LLUV	0,36	0,63	0,57	0,42	0,36	0,45	0,21	0,18	0,17	1,00	
EVPR	-0,28	-0,11	0,67	0,80	0,66	0,85	0,96	0,96	0,96	0,01	1,00

Cuadro 31.- Matriz de correlación entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y los parámetros meteorológicos más importantes. Laguna del Masegar (gleysol).

	%PTd ⁻¹							Temper. Suelo (°C)			LLV	EVPR
	0-2cm	3-5cm	6-8cm	9-11	12-14	15-17	18-20	-5cm	-10cm	-20cm	(mm)	(mm)
0-2	1,00											
3-5	0,90	1,00										
6-8	0,80	0,95	1,00									
9-11	0,65	0,87	0,97	1,00								
12-14	0,57	0,82	0,91	0,94	1,00							
15-17	0,44	0,67	0,81	0,88	0,90	1,00						
18-20	0,26	0,48	0,70	0,78	0,81	0,89	1,00					
T-5cm	0,76	0,65	0,49	0,31	0,24	0,07	-0,01	1,00				
T-10	0,76	0,66	0,49	0,32	0,26	0,08	-0,01	0,99	1,00			
T-20	0,75	0,66	0,50	0,33	0,26	0,09	0,01	0,99	0,99	1,00		
LLUV	0,25	0,07	0,05	-0,02	-0,02	-0,05	0,03	0,11	0,08	0,05	1,00	
EVPR	0,52	0,42	0,25	0,10	0,04	-0,10	-0,17	0,94	0,94	0,95	-0,11	1,00

7.4.7. Influencia de la evaporación y la evapotranspiración.

La correlación entre el %PTd⁻¹ y la media diaria de evaporación, cuando es significativa (> 0,30), es de signo positivo, esto es, a menor evaporación menor descomposición de las tiras y viceversa. Por ello, las dos estaciones con carácter gléico y valores máximos de descomposición en verano y primavera son las que tienen coeficientes de correlación más elevados (0,42/0,52 en el Masegar y 0,66/0,88 en el solonchak de Villacañas).

Las estaciones restantes, que como se vio anteriormente presentan %PTd⁻¹ muy bajos

durante el verano, apenas muestran correlación con la evaporación, pues la falta de agua y/o humedad estival hace que los dos parámetros sólo se relacionen en los meses de invierno de débil evaporación y escasa descomposición de las tiras.

Para evitar los errores provocados por la medida teórica de la evaporación estival (¡sin límite en el suministro de agua!), se han ajustado los valores de ETP de Thornthwaite mensuales a los períodos de exposición en el campo de las tiras de algodón (de 3 a 15 semanas) y obtenido la ETP media diaria. Esta se ha comparado gráficamente con el $\%PTd^{-1}$ y se obtiene los siguientes resultados (Ver fig.44):

- La relación entre $\%PTd^{-1}$ y ETP/día es muy elevada en el gleysol del Masegar, tal y como se observa en el gráfico X; se describen dos curvas sinusoidales con picos en verano (5,5 mm/día del 6-VII al 2-VIII) y mínimos en invierno (0,4 mm/día del 12-I al 11-II), siendo la relación más estrecha en las tiras de superficie.

- Por el contrario, el solonchak gléico de Villacañas sólo presenta relación con las tiras del nivel -15/-17 cm, al igual que la correlación con la evaporación. Esto, parece ser debido a que aquí, con un suelo muy húmedo (por el doble carácter gléico y arcilloso), los primeros centímetros del suelo están expuestos a cambios más rápidos de humedad que en los niveles < -15 cm y, por tanto, más volubles.

- En los suelos de Peña Hueca (regosol/luvisol) y Chica de Villacañas (gypsisol) la ETP media por día y la descomposición de las tiras presentan variaciones anuales similares. A su vez, aunque con menor distancia que con la evaporación, el verano sigue mostrando tendencias contrarias (alta ETP -4,4 mm/día del 18-V al 11-IX- y bajo $\%PTd^{-1}$ - inferior a 1,1).

7.4.8. Influencia de los principales nutrientes del suelo: nitrógeno total y fósforo asimilable.

Los coeficientes de correlación entre los datos estacionales de los nutrientes inorgánicos y el $\%PTd^{-1}$ muestra, como se advierte en el cuadro adjunto, las siguientes relaciones:

- La correlación entre el fósforo asimilable (mg/100 g) y la descomposición de la celulosa ($\%PTd^{-1}$) mantiene en los 5 suelos una tendencia similar, de signo negativo, como se observó en estudios precedentes sobre suelos del Antártico marítimo⁷³. Excepto en el antrosol (Villacañas Larga), el coeficiente es mayor en el nivel de -18-20 cm que en superficie.

- La relación entre el $\%PTd^{-1}$ y el nitrógeno total es más heterogénea, destacándose el incremento de la descomposición de las tiras con el N total (C.C. de signo positivo) en el antrosol de Villacañas y a primeros centímetros del Masegar, donde, a su vez, se registraron los porcentajes de N total más elevados durante las cuatro estaciones. Por el contrario, los

⁷³.- WYNN-WILLIAMS, D.D. (1988): "Cotton strip decomposition in relation to environmental factors in the maritime Antarctic", en *Cotton strip assay: an index of decomposition in soil*, (ITESymposium n° 24). Grange-over-Sands, Institute of Terrestrial Ecology. Pág. 130.

suelos restantes muestran una correlación negativa o insignificante, en general, con escasos porcentajes de N total.

Cuadro 32.- Coeficientes de correlación entre el % PTd⁻¹ y los nutrientes.

Lagunas (Tipo de suelo)	%PTd ⁻¹ a -3/-5 cm		Tiras de algodón a -18/-20	
	N Total -5	P ₂ O ₅ -5 cm	N Total -20	P ₂ O ₅ -20
Masegar (Gleysol)	0,68	-0,26	-0,86	-0,91
Villacañas Larga	-0,68	0,39	-0,36	-0,82
Villacañas Larga (antrosol)	0,98	-0,99	0,89	-0,90
Villacañas Chica (gypsisol)	-0,87	-0,15	-0,45	-0,94
Peña Hueca (regosol)	0,07	-0,08	-0,97	-0,56

Por último destacar las conclusiones más relevantes de los 5 suelos analizados:

- El período de exposición óptimo de las tiras de algodón en los suelos de borde de las higrocoras manchegas oscila entre 3 semanas -durante los meses centrales del verano, en suelos con carácter hidromorfo o gléico- y 8 semanas -durante el invierno para todos los suelos, y en verano para aquéllos con falta de agua.

- Existe una gran estacionalidad en la descomposición de las tiras de algodón, que está en íntima relación con el clima, siendo la temperatura y la humedad los parámetros más determinantes.

Si durante gran parte del año es la temperatura la que condiciona gran parte de la descomposición de las tiras de algodón, durante el verano la presencia o no de agua y/o humedad es factor limitante para el desarrollo de los microorganismos.

Así, bajo un mismo mesoclima, el carácter hidromorfo de los suelos permite durante el verano un elevado %PTd⁻¹, mientras que éste es insignificante en los suelos con alto déficit hídrico (gypsisol de Villacañas Chica y regosol de Peña Hueca).

Entre los suelos hidromorfos o gléicos la descomposición de las tiras de algodón es mayor cuanto más fino es el carácter textural (arcilloso en el solonchack de Villacañas Larga, frente a francos y franco-arenosos en los restantes), pues permite una mayor retención del agua y/o humedad.

- Altos porcentajes de fósforo asimilable, favorecidos por la contaminación de aguas residuales (antrosol de Villacañas Larga), repercute negativamente en el incremento de la descomposición de la celulosa. Por el contrario, la relación parece ser directa entre los altos porcentajes de N total y de PTd⁻¹.

Fig.33.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el gypsisol de la laguna Chica de Villacañas.

Profundidad Suelo

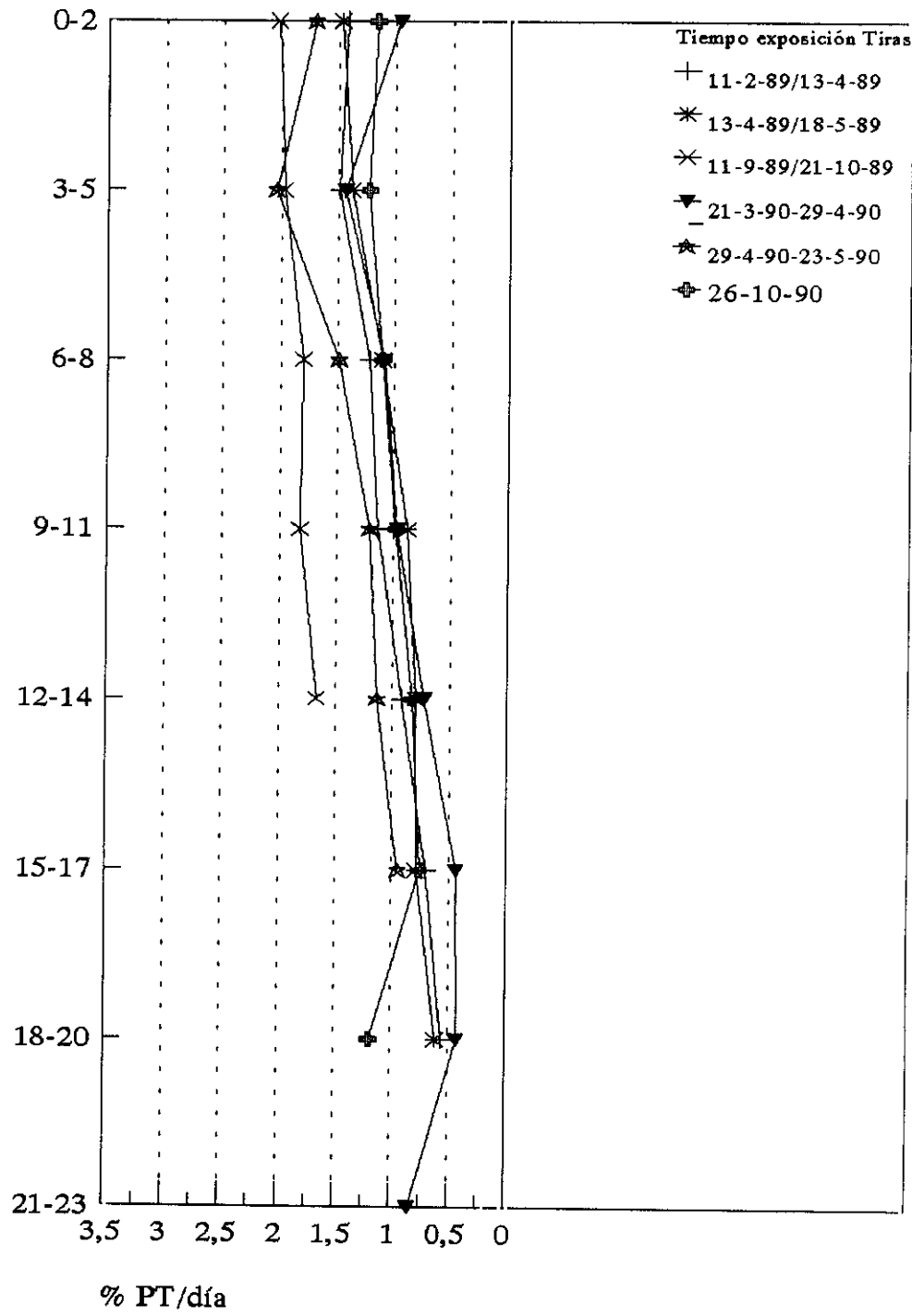


Fig.34.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el regosol/luvisol de la laguna de Peña Hueca.

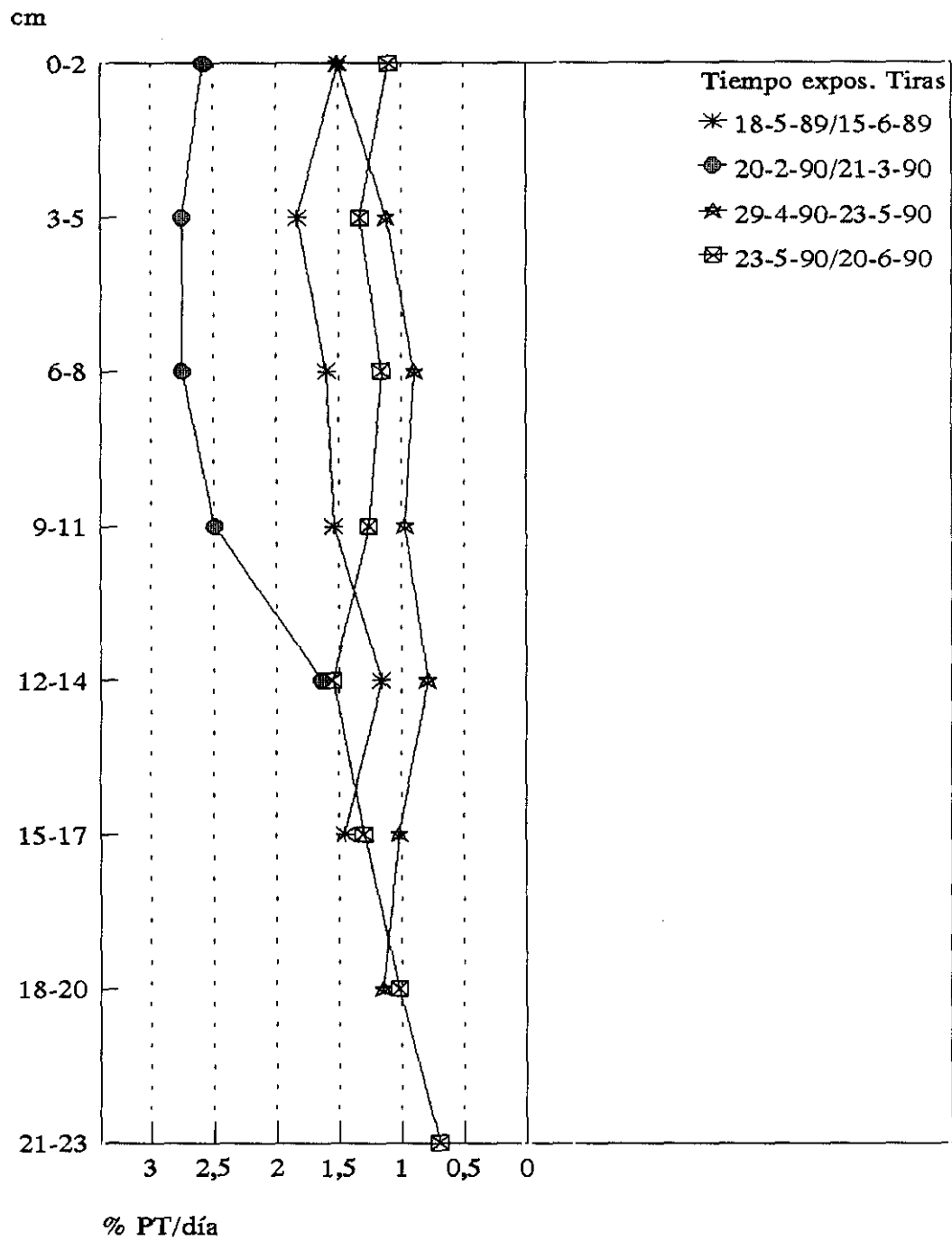


Fig.35.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el gleysol de la laguna del Masegar.

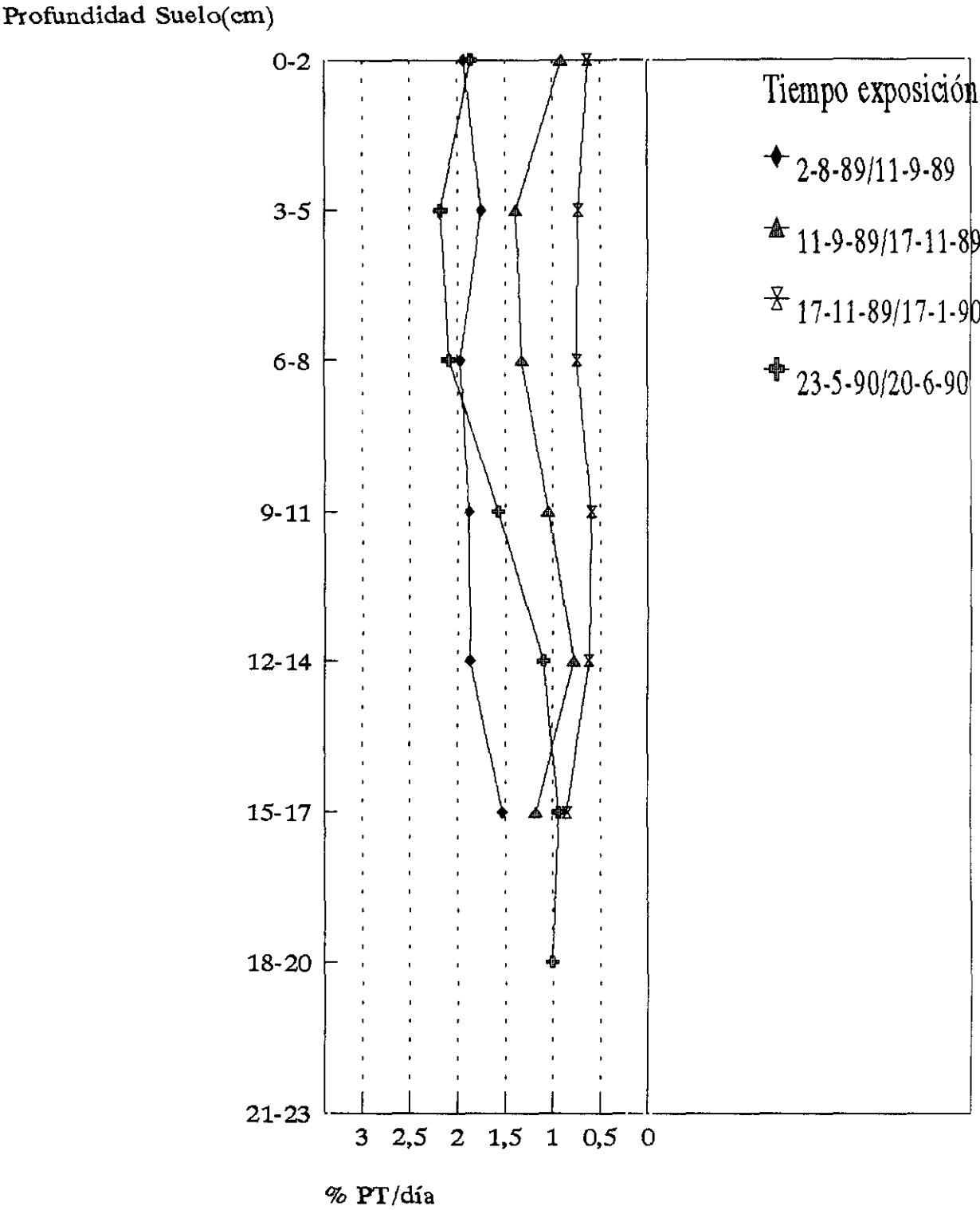


Fig.36.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el solonchak de la laguna Larga de Villacañas.

Profundidad Suelo(cm)

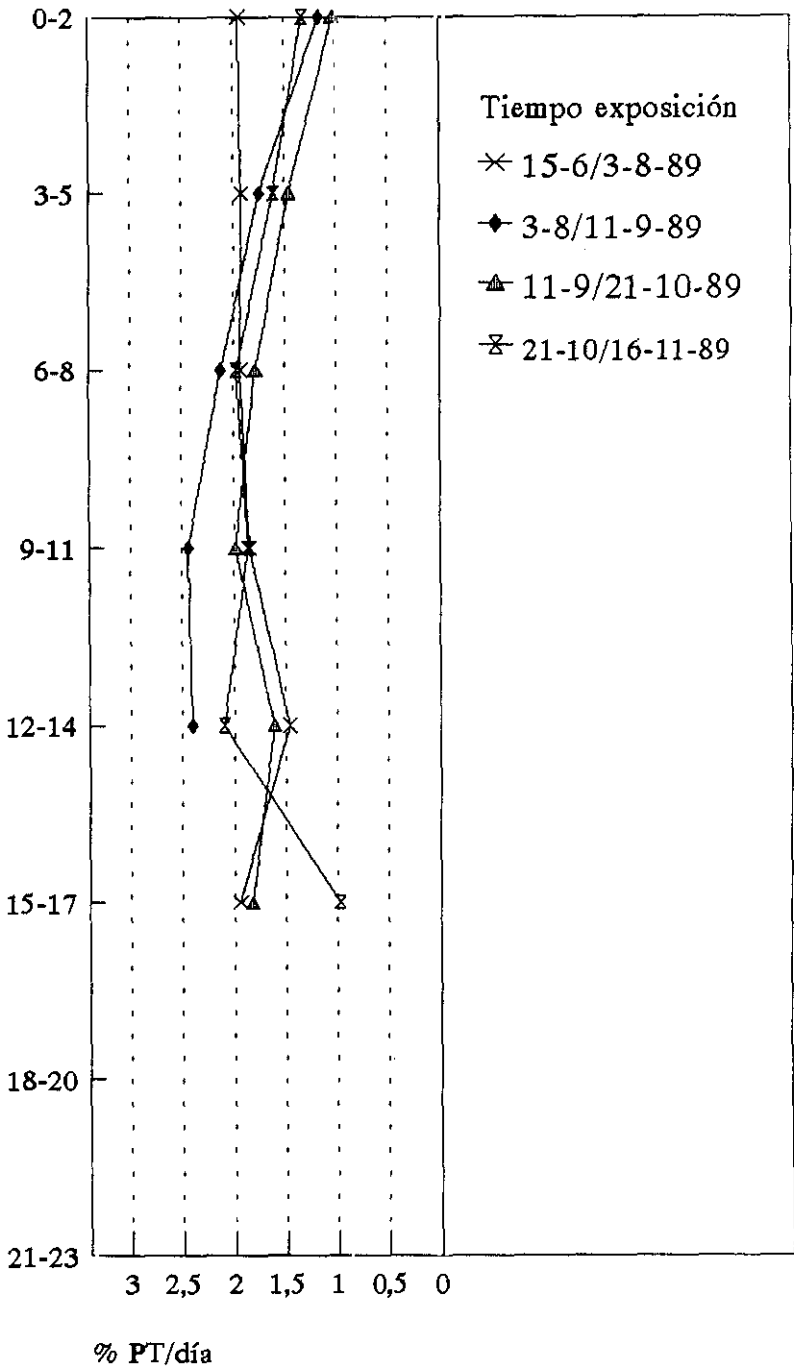


Fig.37.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según la profundidad del suelo en el antrosol de la laguna Larga de Villacañas.

Profundidad Suelo(cm)

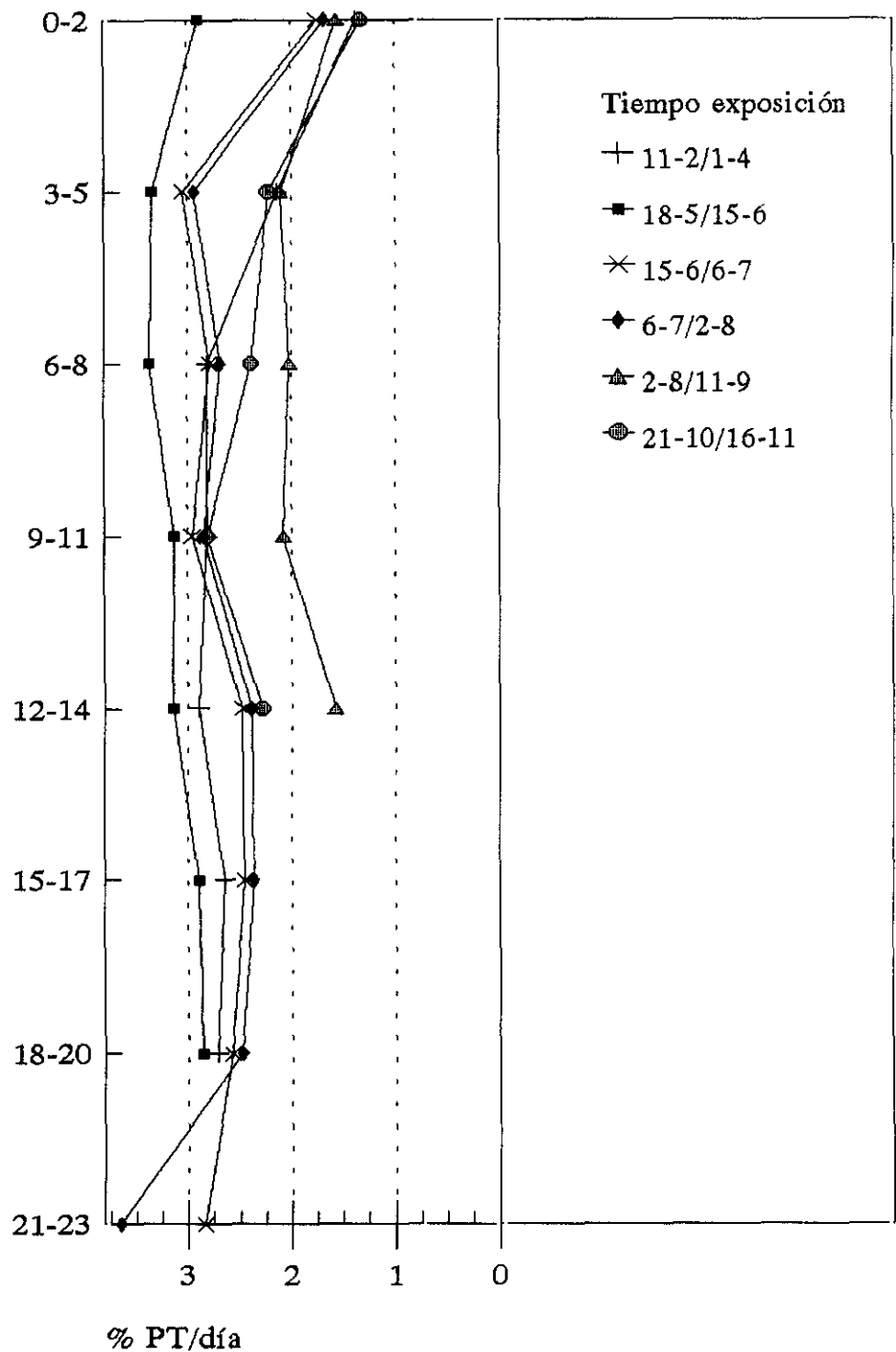


Fig.38.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el gypsisol de la laguna Chica de Villacañas.

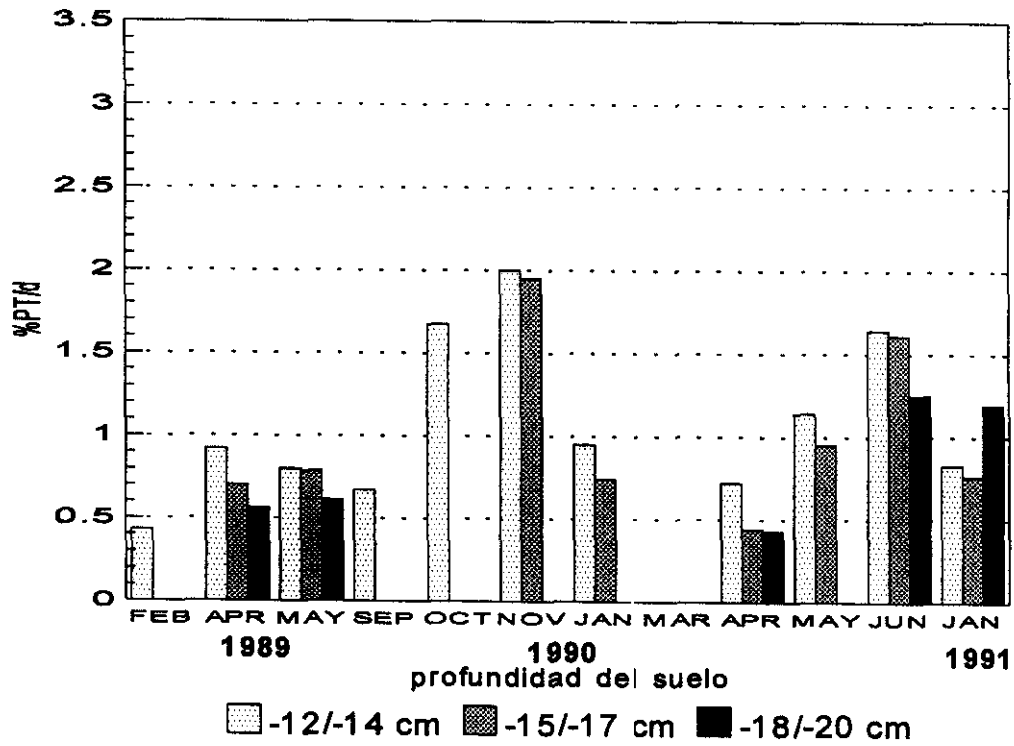
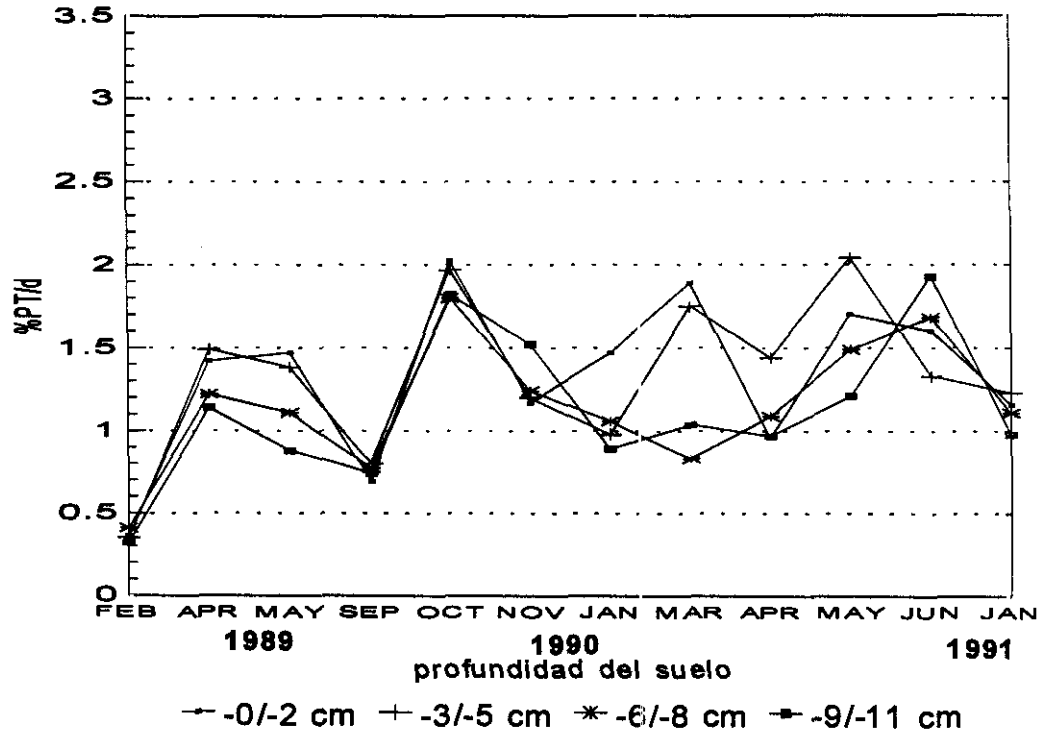


Fig.39.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el regosol/luvisol de la laguna de Peña Hueca.

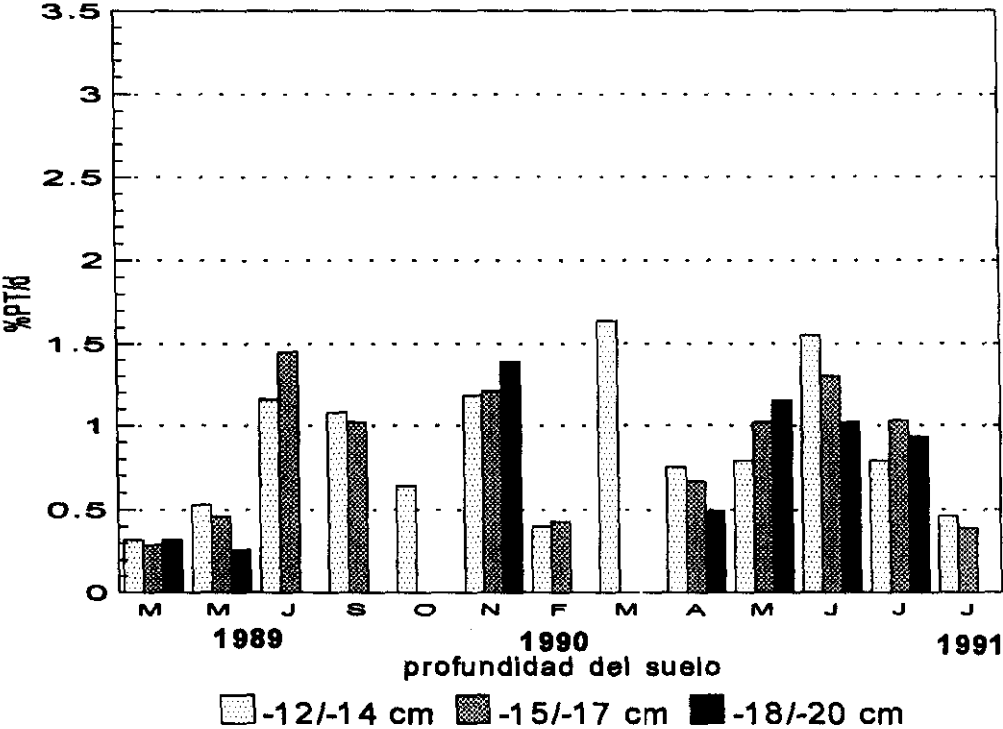
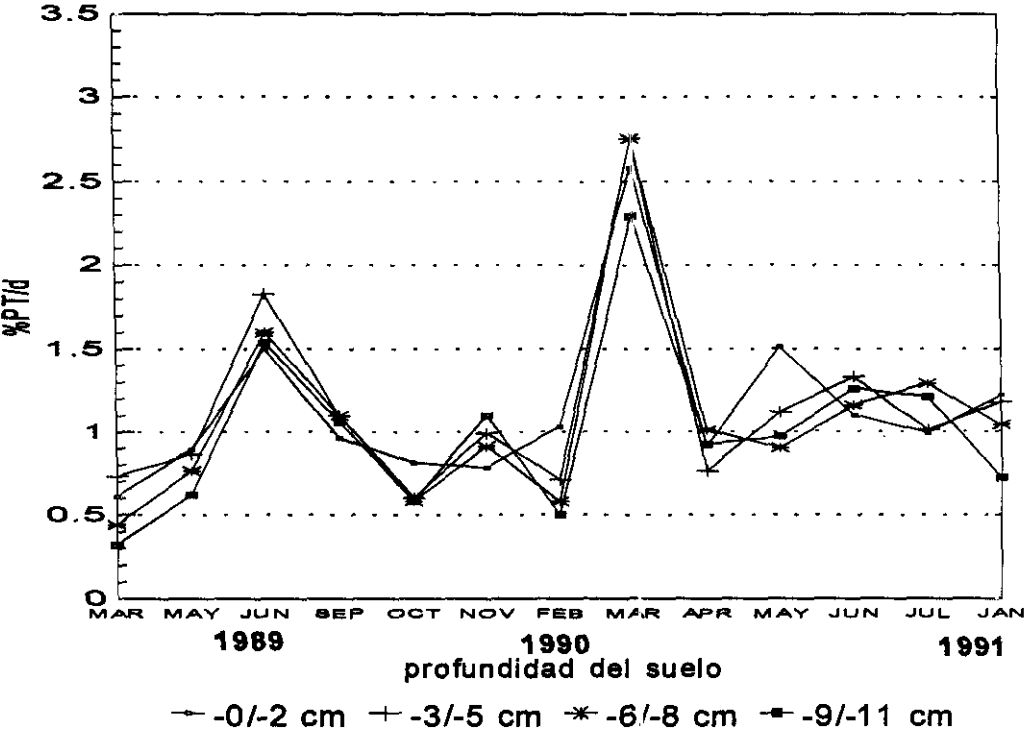


Fig.40.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el gleysol de la laguna del Masegar.

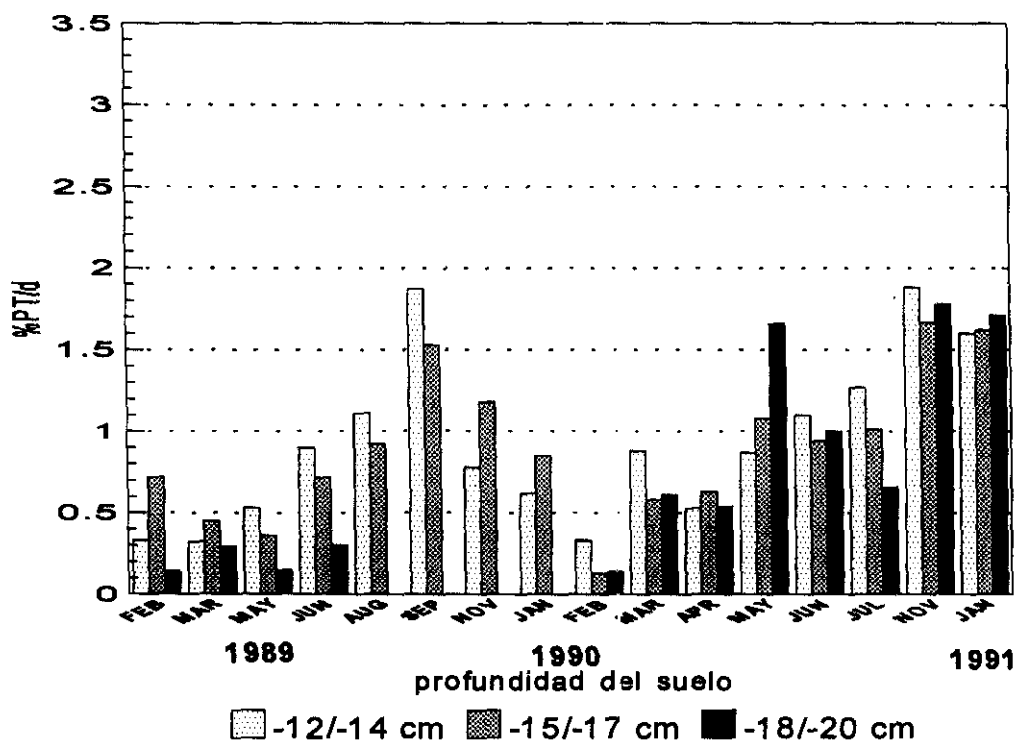
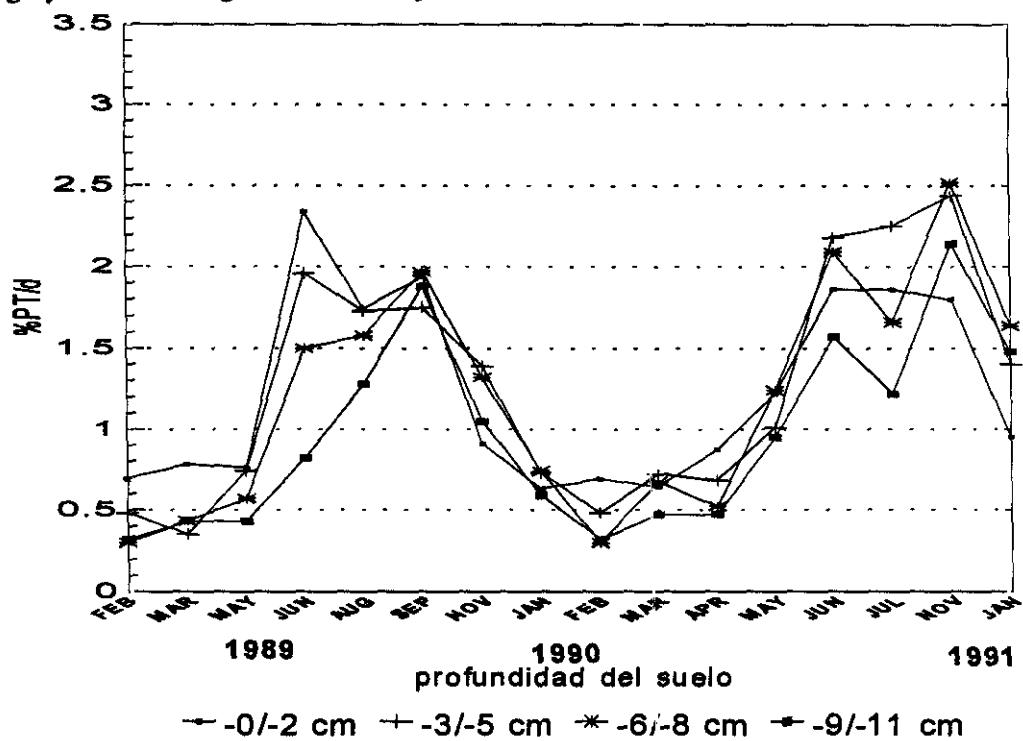


Fig.41.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el solonchak de la laguna Larga de Villacañas.

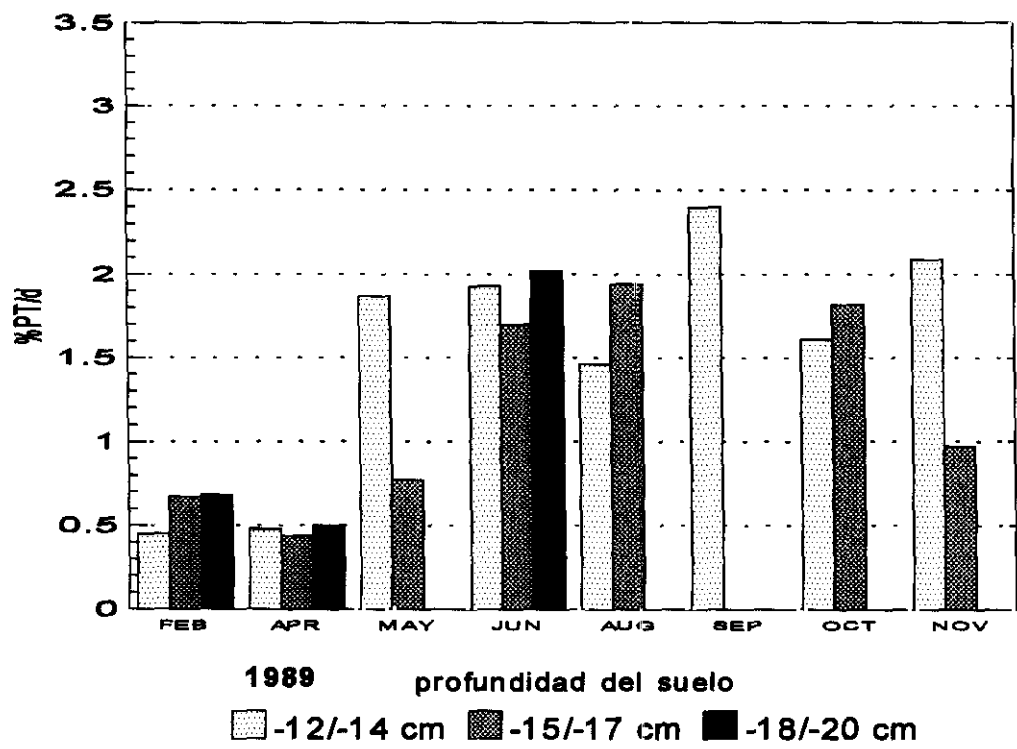
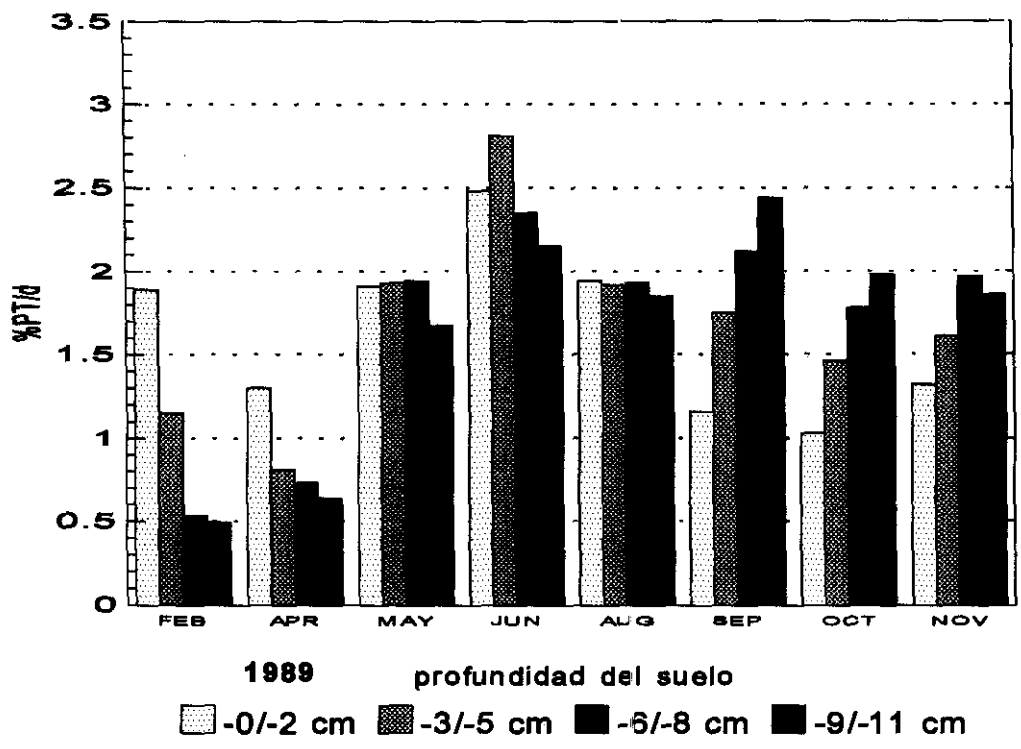


Fig.42.- Pérdida tensil de las tiras de algodón según las variaciones anuales en el antrosol de la laguna Larga de Villacañas.

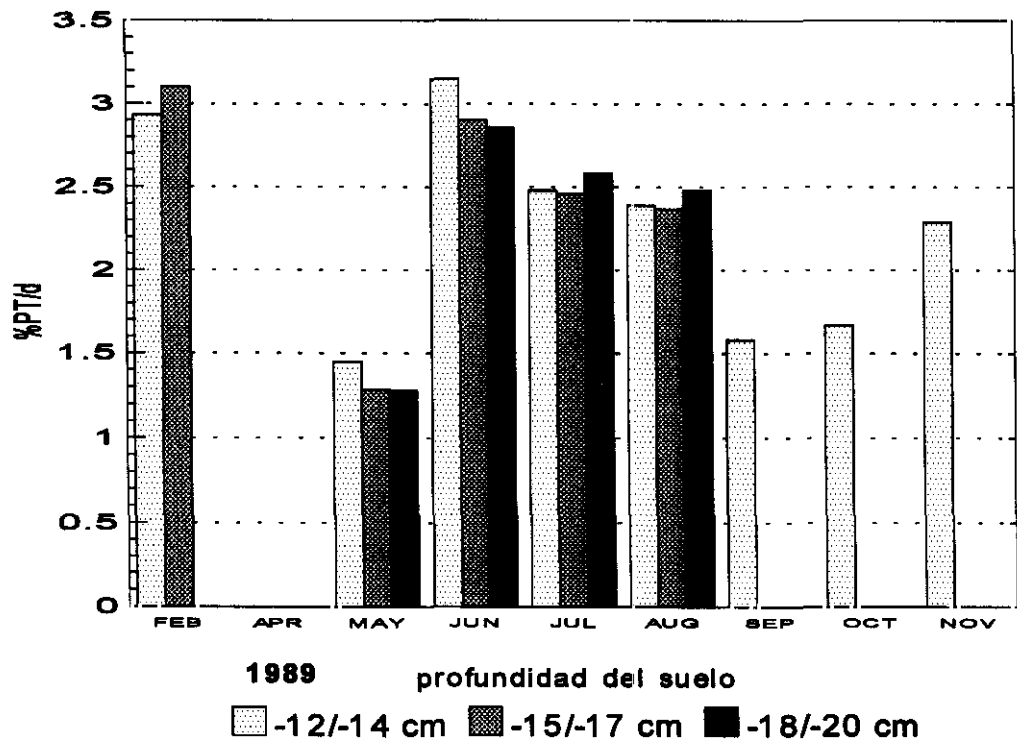
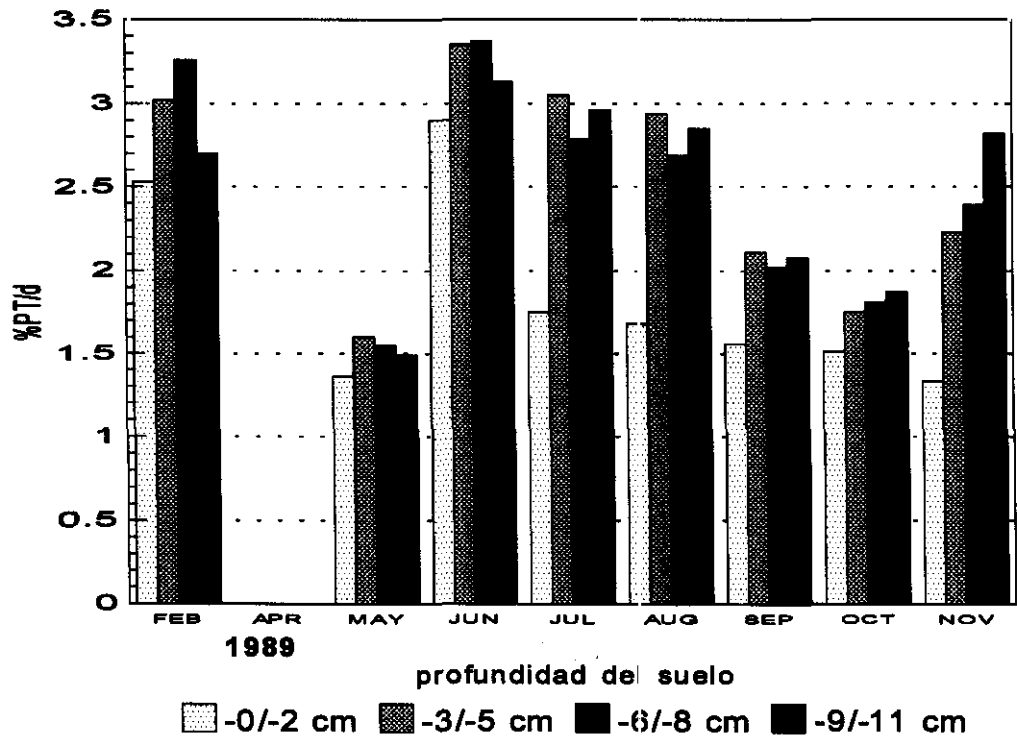
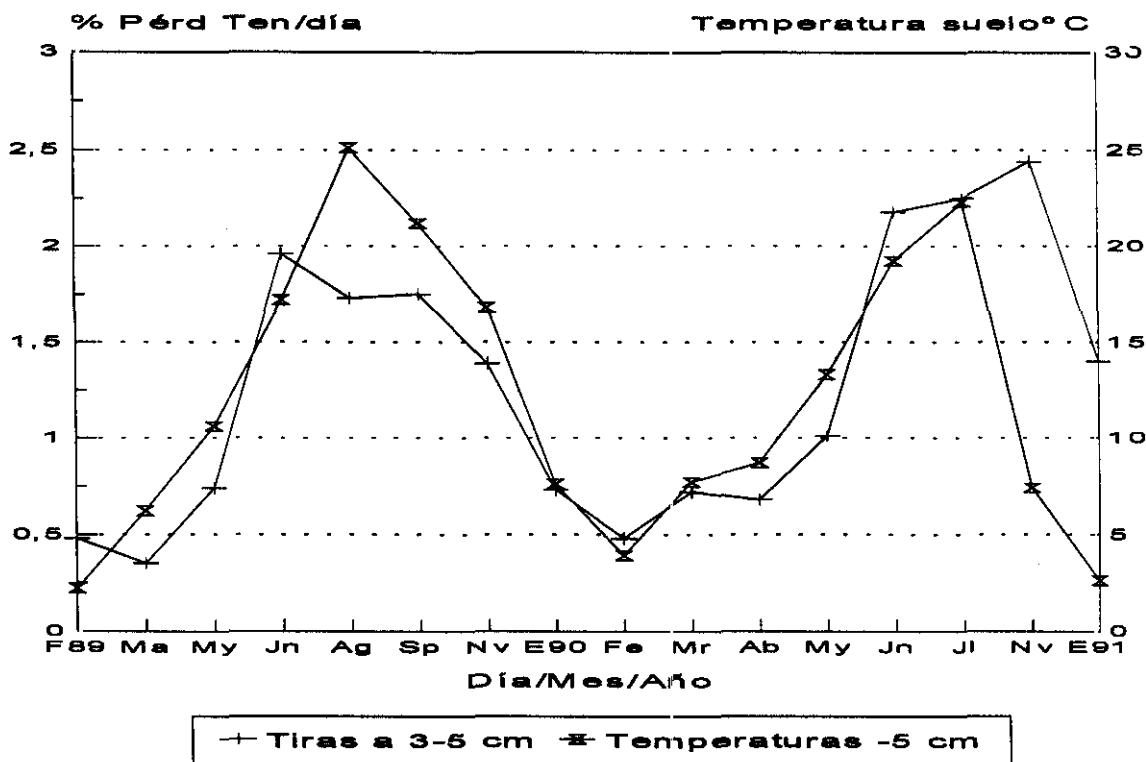


Fig.43.- Relaciones entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y la temperatura.

Masegar-Gleysol móllico



Villacañas Larga-Solonchak

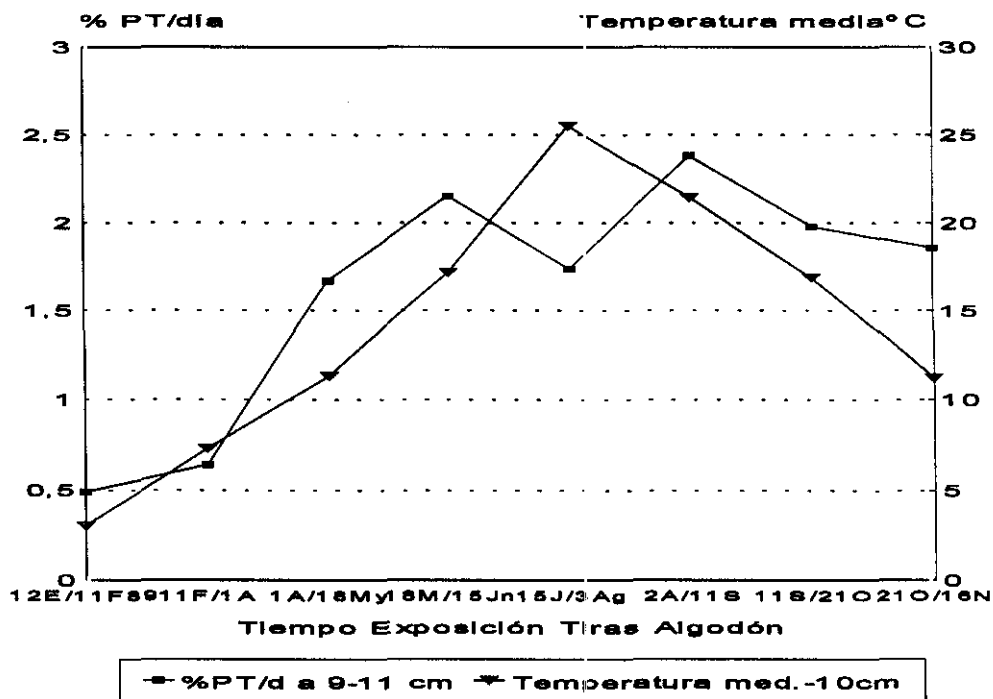


Fig.43.- (Continuación).

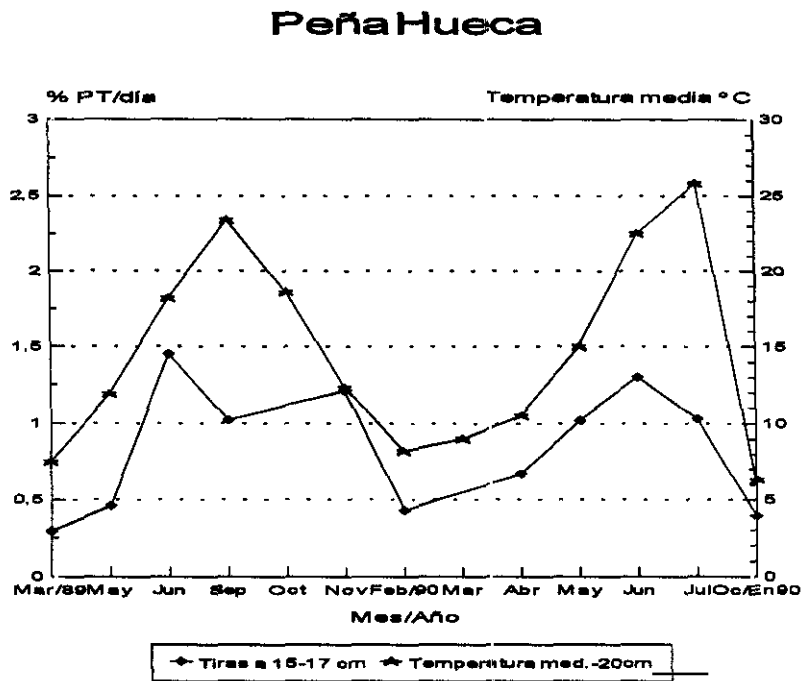
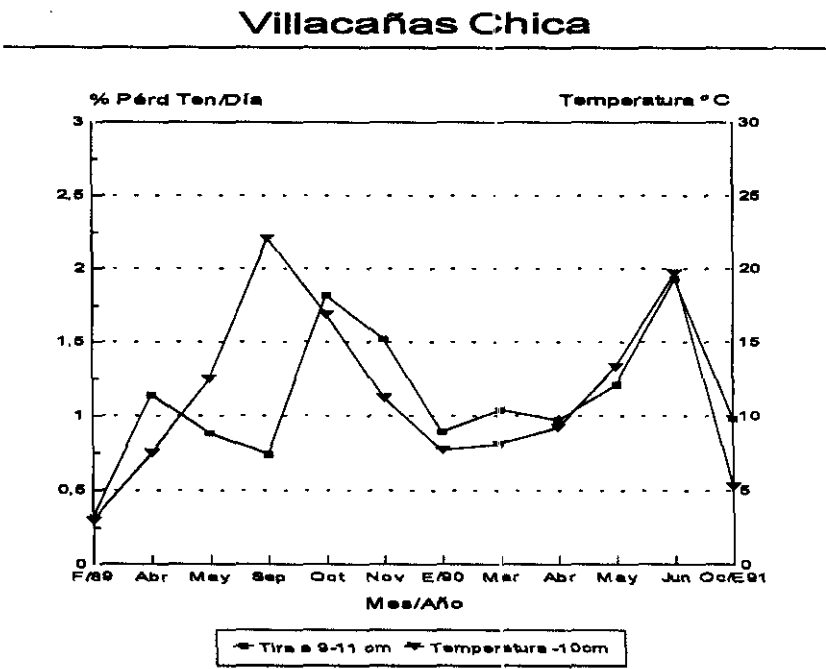
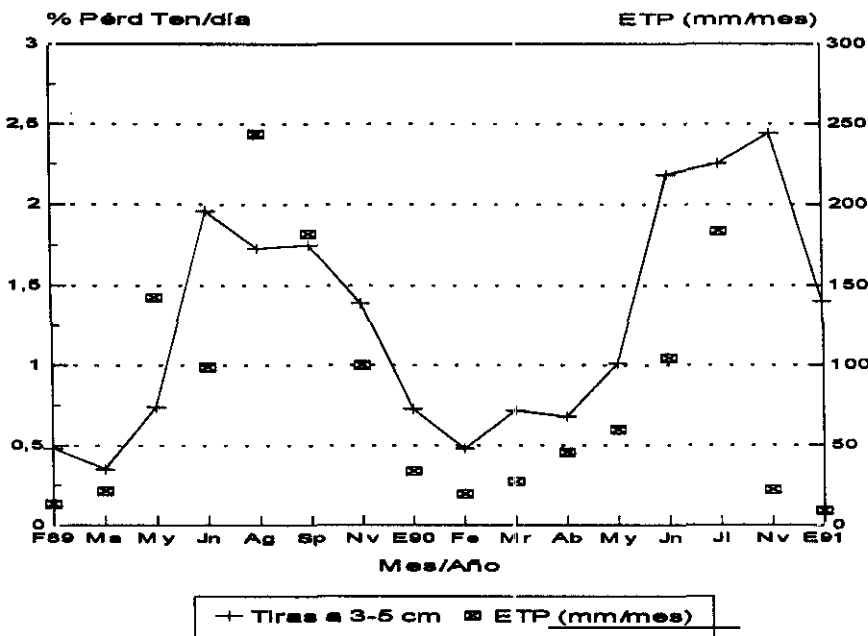
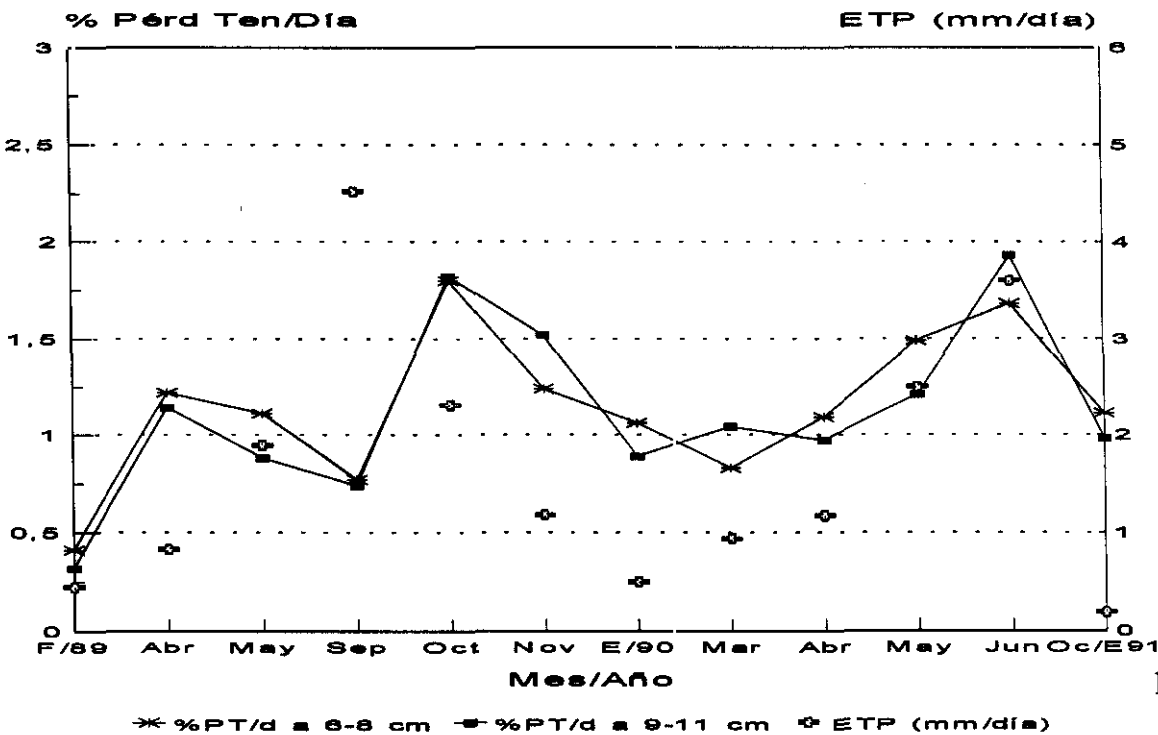


Fig.44.- Relaciones entre la pérdida tensil de las tiras de algodón y la ETP.

Masegar-Gleysol móllico



Villacañás Chica



CAPÍTULO IV

HIDROLOGÍA DEL EXTREMO SURORIENTAL DE LA PROVINCIA DE TOLEDO

IV.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es conocer cuál es la tipología de las aguas de cuatro lagunas manchegas y, sobre todo, su relación con el espacio donde se ubican. Se trata de estudiar la variabilidad espacial de la cantidad y calidad de las aguas de las 4 lagunas situadas en el extremo suroriental de la provincia de Toledo, analizadas en los capítulos precedentes. A su vez, en cada una de ellas, se tratarán los cambios mensuales y anuales de los principales elementos físicos y químicos de las aguas. También se estudian las posibles contaminaciones fruto del uso que el hombre hace de sus aguas, o a consecuencia de las actividades realizadas en su entorno.

La contaminación se contempla desde una doble perspectiva: física (presencia de espumas, cambios de color, materiales en suspensión, etc), y química (por detergentes, por abonos, por vertidos urbanos y/o industriales). No se tratará aquí la contaminación biológica, pues las aguas de las lagunas seleccionadas no se utilizan para usos domésticos ni para baños. Sí sería interesante tener presente este tipo de contaminación en el caso de incluir el uso que la fauna (especialmente avifauna) hace de las aguas de las lagunas, pero este aspecto queda fuera del interés de esta obra y de la preparación de su autora.

Dentro del sector Villacañas-El Masegar se han seleccionado cuatro humedales, lagunas Larga y Chica de Villacañas, laguna de Peña Hueca y laguna del Masegar, sobre los que se ha llevado un riguroso seguimiento de sus aguas a lo largo de dos ciclos anuales: 1989 y 1990.

Por un lado, el análisis de las aguas es puntual, esto es, exponiendo las características hídricas de dos años concretos (1989 y 1990), y por otro, general, en el que se analizan dentro del contexto de los últimos treinta años. Así, como se refleja en la figura 6, 1989 corresponde a un año medio húmedo y 1990 a un año medio seco. A su vez, hasta la fecha, ningún trabajo precedente ha aportado series mensuales de análisis de aguas durante dos años contiguos para las lagunas aquí estudiadas.

El motivo de realizar análisis mensuales durante los ciclos anuales es obtener una correcta interpretación de los resultados, ya que, para poder decir si una laguna está o no

contaminada, "no es un resultado aislado el que tiene interés, sino una variación significativa de una medida anterior"⁷⁴. Se entiende que tiene más importancia una variación del valor encontrado habitualmente que el hallazgo de una sola cifra elevada.

Por último, para comprender tanto la cantidad como en muchos casos la calidad de las aguas de las lagunas no debe olvidarse la gran transformación que soportan muchos humedales por parte del hombre, en el propio vaso lagunar, en sus márgenes, y, por descontado, en toda su cuenca.

Antes de pasar al análisis de las lagunas manchegas seleccionadas se comentarán los rasgos más destacados de la red de drenaje dominante en el espacio estudiado, así como de los cursos fluviales que surcan este área. Buena parte de los datos de los aforos del río Cigüela han sido recogidos y analizados en la obra de FORNÉS (1994). Por tanto, más que reiterar información, aquí se expondrán las características hídricas y morfológicas más relevantes de los ríos Riánsares y Cigüela, sin que se pretenda hacer un análisis hidrológico exhaustivo de estos ríos (ya contemplado en la obra de FORNÉS). Dicha obra recoge también análisis químicos puntuales del río Cigüela y de algunas lagunas (Peña Hueca y el Masegar) y, aunque referidos al año hidrológico 1992-93, se tratará de comparar con los datos mensuales de 1989-1990, para contemplar su posible evolución.

IV.2. LA RED HIDROGRÁFICA SUPERFICIAL

En una primera aproximación al área de estudio se observa una red hidrográfica formada por dos cursos fluviales -los ríos Riánsares y Cigüela-, que presentan un trazado dominante NNE-SSW. En la actualidad ambos tienen un cauce muy rectilíneo a consecuencia de las obras de profundización y canalización realizadas por última vez en 1992. Los cursos de los ríos apenas recogen aportaciones laterales, pues buena parte del terreno que atraviesan es prácticamente plano (< 3 % de pendiente) y los materiales dominantes son permeables y/o de fácil disolución, como es el caso de los yesos miopliocénicos que ocupan buena parte de la comarca SE de la cuenca.

El resto del espacio estudiado (comprendido entre el pueblo de Villacañas y las lagunas de Peña Hueca y el Masegar), tiene una red de drenaje muy mal organizada, donde son numerosos los focos endorreicos (lagunas, charcas, superficies encharcadas, etc) y los sumideros (dolinas y torcas). En definitiva, se trata de un espacio mal drenado, en el que el agua al precipitar tiene un escaso recorrido superficial (ver fig. 45). Los factores que explican la reducida escurrentía son:

- La planitud del relieve, con amplias superficies de pendiente < 3 % (especialmente en la dos márgenes del río Riánsares) y extensas llanuras de inundación (en la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela).
- La configuración calcárea de los escasos altozanos, en los cuales se han desarrollado numerosas dolinas, (ver mapa geomorfológico 3-3).

⁷⁴.-RODIER, J. (1981): *Análisis de las aguas*. Ed. Omega, Barcelona, pág.137

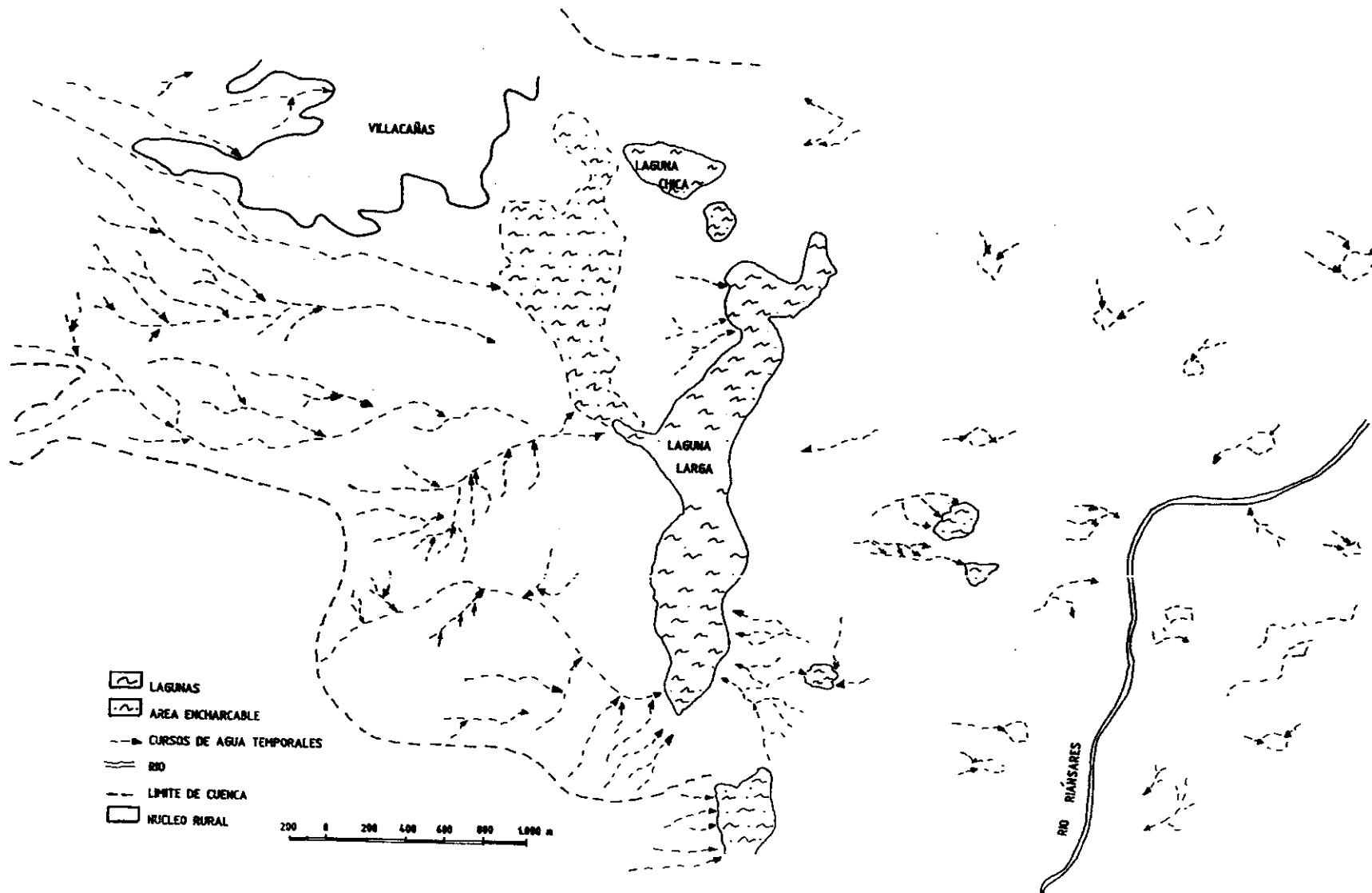


Fig.45.- Red hidrográfica que aporta aguas a las lagunas de Villacañas y al río Riánsares.

- El predominio de materiales de fácil disolución en la llanura de inundación de los ríos Riánsares y Cigüela, y en los mismos lechos de los ríos, en los que se han formado un conjunto innumerable de torcas, (ver mapa geomorfológico 3-4).

Gracias a la información recogida en los aforos del río Cigüela (Quintanar, núm. 201 y Villafranca, núm. 202), puede conocerse cuantitativamente el régimen hídrico del río en este tramo. Aunque los matices geomorfológicos no sean despreciables a la hora de analizar el régimen del río, éste está condicionado principalmente por los factores atmosféricos. Así, considerando los valores del período 1954-55/85-86, el río Cigüela presenta *caudales medios mensuales máximos* en marzo (3,12 m³/s en Quintanar y 5,56 m³/s en Villafranca), *máximos secundarios* en febrero (2,52 m³/s en Quintanar y 5,12 m³/s) y *mínimos* en agosto (0,60 y 0,10 m³/s en Quintanar y Villafranca respectivamente).

En general, los caudales medios máximos mensuales, expresados en el cuadro 33 y figura 48, son propios del invierno (época de máximo pluviométrico principal, 31-36% anual) o principios de primavera (que, como se vio en el apartado I.2, registra el máximo pluviométrico secundario, entre el 31-34 % anual), y los mínimos durante el verano, por la acusada falta de agua.

Al comparar las dos estaciones de aforo, resulta que los valores medios del período son mayores en Villafranca (estación situada más al sur) de octubre a junio, situación que se invierte durante los tres meses de verano, siendo mayores entonces, los valores medios de Quintanar.

Cuadro 33.- Caudales medios mensuales máximos del período 1954-55/85-86 (en m³/s).
Estaciones de aforo de Quintanar (201) y Villafranca (202).

Aforos	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
201	0,84	1,26	1,39	2,31	2,52	3,12	2,30	1,87	1,87	0,94	0,60	0,81
202	0,91	1,80	2,52	4,01	5,12	5,56	4,50	2,95	1,84	0,46	0,10	0,18

Los valores de los caudales medios del río señalan un río regular, esto es, bajo un mismo clima se supone mayor cantidad de agua de otoño a primavera cuanto mayor sea la superficie de la cuenca (la estación de Quintanar tiene 995 km² y la de Villafranca 3.367 km²). Mientras que durante el verano, la falta de agua será más acusada cuanto más al sur se encuentre el tramo del río y, por tanto, mayor sea el alejamiento de la cabecera (casi los únicos aportes del río durante el estío proceden de allí) y más elevada sea la evapotranspiración.

En cuanto a las variaciones estacionales del río Cigüela, recogidas en el hidrograma anual (fig.48), señalan un largo período - entre junio y diciembre- con coeficientes mensuales inferiores al módulo anual (valores <) y otro, más corto -entre enero y mayo- con coeficientes superiores al módulo anual (valores > 1). Dicho hidrograma pone de manifiesto ligeras desviaciones respecto al régimen de precipitaciones (con máximos pluviométricos en invierno y primavera), pues no se reflejan los incrementos por las lluvias otoñales, debido seguramente a la escasa escorrentía superficial en esta época tras

el largo período de falta de agua.

Al considerar los caudales y niveles máximos y mínimos diarios del año no revelan lo mismo. Los *caudales máximos diarios anuales* reflejan tendencias diferentes en las dos estaciones de aforo, como puede observarse en los cuadros 34 y 35. Mientras que en Villafranca destaca el espectacular descenso de los caudales máximos desde 1980, sin precedentes en el período 1954-55/85-86, en Quintanar no se advierte esa tendencia en los valores máximos diarios (31,1 m³/s en 1970, 39,7 m³/s en 1978 y 76,65 m³/s el 5.5.1982).

Respecto a los *niveles máximos diarios* del río, representados en las figuras 46 y 47, las dos estaciones describen curvas similares hasta 1980, fecha desde la cual los niveles de Villafranca son sensiblemente inferiores. Por lo general, la cota de agua más alta alcanzada en el río es de 2,5 m el 11.3.1978 en Villafranca y 2,41 m el 5.5.1982 en Quintanar (siendo en este caso el máximo instantáneo diario de 2,5 m).

Aunque los caudales y niveles máximos diarios anuales son más frecuentes en marzo (período extensivo de febrero a abril), pueden ocurrir casi en cualquier época del año. Así, durante el período estudiado, sólo octubre y agosto están ausentes de valores máximos en Quintanar, y pueden darse de noviembre a junio en Villafranca. Sin embargo, los *caudales y niveles mínimos diarios* (0 m³/s y 0 m respectivamente) estaban limitados de 2 a 7 meses al año en las dos estaciones. Cabe destacar el cambio ocurrido en el río desde 1980-81 en que el agua está ausente en la estación de Villafranca de 8 a 11 meses al año, sin que este hecho haya ocurrido en los 30 años estudiados.

El río Cigüela, que tiene su mayor alimentación en el tramo superior, se comporta a su paso por este sector manchego como "perdedor", hecho que viene demostrado por la disminución de los caudales máximos y mínimos anuales del río Cigüela entre las dos estaciones de aforo. Este río, que antiguamente perdía parte de sus aguas en las amplias llanuras de inundación, -tablas o tablazos-, en la actualidad, lo hacen sólo tras precipitaciones extraordinarias, muy ocasionales (108,6 mm el 13.6.1992), o cuando las medidas administrativas de transvasar aguas del Tajo al Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel a través del río Cigüela aumentan considerablemente el caudal del río.

Así, durante los meses de febrero y marzo de 1992 y de 1994 (años en que se transvasaron aguas desde principios de enero) se observaron innumerables pérdidas en el caudal del río. Dichas pérdidas son producidas por movimientos subsuperficiales del agua (inundando buena parte de terrenos próximos al cauce del río), y seguramente también por infiltración las aguas vayan a parar al acuífero.

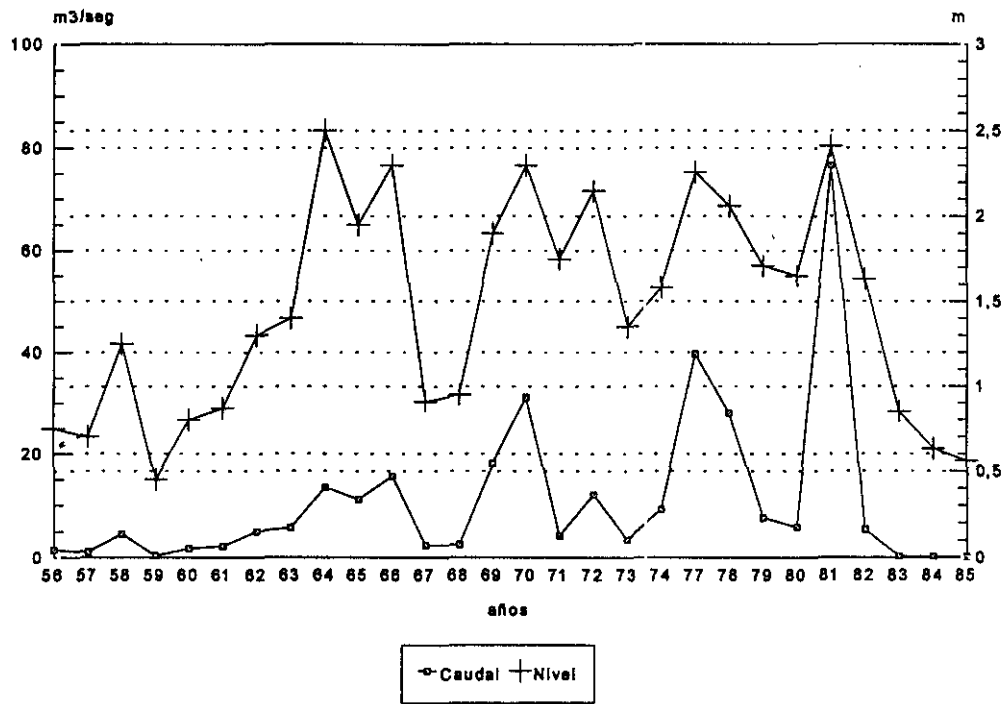
Cuadro 34.- Caudales y niveles máximos diarios anuales en la estación de aforo de Quintanar (Toledo).

	Caudal (m ³ /s) máximo medio diario anual	nivel (m)	fecha	Caudal (m ³ /s) máximo medio diario anual	nivel (m)	fecha
1954-55	1.46	0.75	febrero	0.00	0.00	oct/ago
1955-56	1.07	0.70	dic-ene	0.02	0.09	octubre
1956-57	4.51	1.25	20 jun	0.14	0.32	1-2 sep
1957-58	0.35	0.45	15 abr	0.02	0.10	agosto
1958-59	1.72	0.80	27-28dic	0.02	0.10	octubre
1959-60	2.15	0.87	28 mar	0.04	0.20	agosto
1960-61	5.00	1.30	febrero	0.18	0.30	octubre
1961-62	5.73	1.40	noviembre	0.20	0.36	octubre
1962-63	13.45	2.50	febrero	0.26	0.40	octubre
1964-65	11.10	1.95	15 mar	0.00	0.00	oct-nov
1965-66	15.66	2.30	22 ene	0.20	0.40	ago-jul
1966-67	2.34	0.91	27 mar	0.39	0.29	15 sep
1967-68	2.45	0.95	mar y abr	0.56	0.32	12 oct
1968-69	18.12	1.90	marzo	0.22	0.47	1 oct
1969-70	31.10	2.30	12 ene	0.90	1.00	julio
1971-72	4.15	1.75	23 sep	1.48	1.32	julio
1972-73	12.05	2.15	noviembre	1.50	1.35	ago-sep
1973-74	3.40	1.35	16 jul	0.20	0.70	ago-jul
1976-77	9.20	1.58	5 feb	0.11	0.39	6 oct
1977-78	39.69	2.26	4 mar	0.86	0.89	1 oct
1978-79	28.00	2.06	3 jul	0.01	0.00	30 jul
1979-80	7.60	1.71	16 nov	1.04	1.22	22 ago
1980-81	5.85	1.65	26 abr	0.21	0.56	16 ago
1981-82	76.65	2.41	5 may	0.19	0.52	15 sep
1982-83	5.39	1.63	8 nov	0.17	0.47	30 sep
1983-84	0.31	0.85	19jun	0.03	0.07	21 jul
1984-85	0.23	0.63	12 feb	0.01	0.04	11 sep
1985-86	0.19	0.56	20 mar	0.02	0.05	1 oct

Cuadro 35.- Caudales y niveles máximos diarios anuales en la estación de aforo de Villafranca.

	Caudal (m ³ /s) máximo medio diario anual	nivel (m)	fecha	Caudal (m ³ /s) mínimo medio diario anual	nive l (m)	fecha
1954-55	2.04	0.70	3-5 mar	0	0	o-e/jn-s
1955-56	20.10	1.82	2-7 abr	0	0	o-d/ag-sp
1956-57	7.82	1.15	9-14 oct	0	0	jl-sep
1957-58	10.39	1.30	17-21 abr	0	0	o/jul-sep
1958-59	5.53	1.00	9-27 feb	0	0	o-d/jl-sep
1959-60	23.20	1.98	6-7 abr	0	0	o/ag-sep
1960-61	19.62	1.80	28 dic	0	0	jul-sep
1961-62	10.10	2.10	29-30 mar	0	0	jul-sep
1962-63	11.00	2.20	24-25 feb	0	0	octubre
1963-64	10.50	2.07	23 dic	0.04	0.09	septiemb
1964-65	9.80	2.00	19-22 mar	0	0	jun-sep
1965-66	12.25	2.25	21 feb	0	0	o/ag-sep
1966-67	4.30	1.24	18 feb	0	0	jul-sep
1967-68	2.24	0.86	3 mar	0	0	o-n/jn-s
1968-69	12.95	2.15	4 may	0	0	o-en/ago
1969-70	21.00	2.50	11-19 ene	0	0	jul-sep
1970-71	18.05	2.38	23 abr	0.12	0.26	3 oct
1971-72	7.18	1.72	30 mar	0	0	jul-sep
1972-73	19.03	2.42	11 nov	0	0	jul-sep
1973-74	4.56	1.31	15 abr	0	0	o/ag-sp
1976-77	14.60	1.93	1 mar	0	0	o-d/ag-s
1977-78	29.25	2.45	11 mar	0	0	octubre
1978-79	21.22	2.19	16 feb	0.06	0.12	2 oct
1979-80	6.75	1.47	17 oct	0	0	jul-sep
1980-81	2.30	0.81	5 may	0	0	o-e/jn-s
1981-82	0.48	0.36	11 abr	0	0	o-mr/my-s
1982-83	1.17	0.54	30 dic	0	0	o-d/my-s
1983-84	0.00	0.04	20 dic	0	0	todo-año
1984-85	1.32	0.58	19 feb	0	0	o-e/jn-s
1985-86	1.74	0.68	8 may	0	0	o-f/jn-s

Fig.46.-Caudales y niveles del río Cigüela en la estación de aforo de Quintanar (201).



-Caudales y niveles del río Cigüela en la estación de aforo de Villafranca (202).

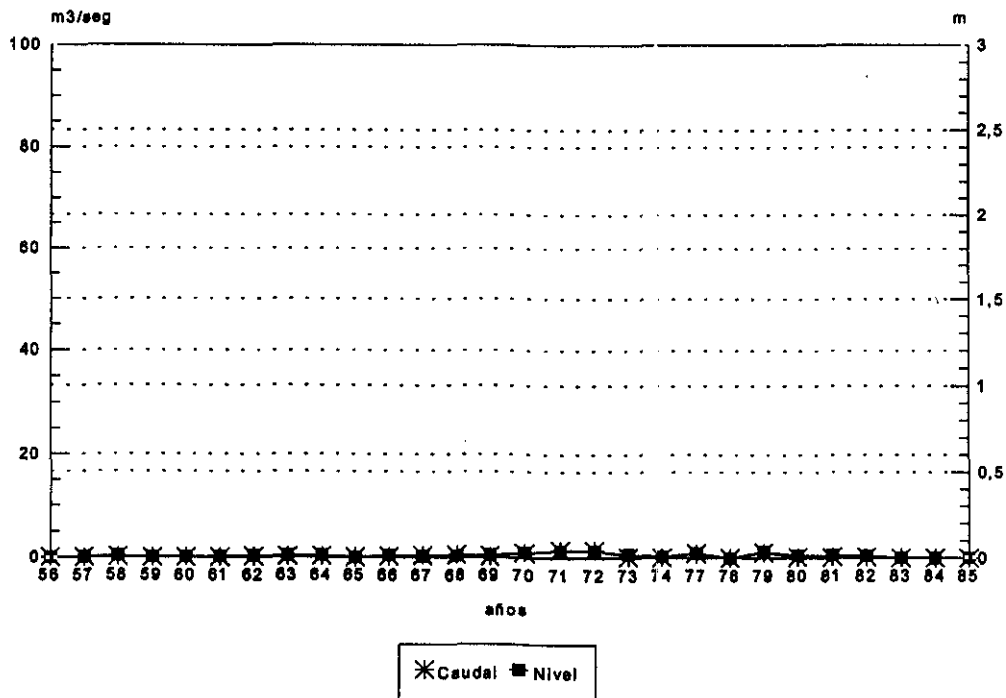


Fig.48.- Hidrograma anual del río Cigüela en las estaciones de aforo de Quintanar y Villafranca



Quintanar=Media anual 1,65
 Villafranca=Media anual 2,50

IV.3. NIVELES PIEZOMÉTRICOS DE LAS LAGUNAS

Aparentemente las alturas máximas de agua registradas en las lagunas no son muy espectaculares (de 30 a 70 cm), pero, dentro del contexto de los niveles de agua de los humedales, son más que suficientes para definir la mayor o menor estacionalidad del agua en las lagunas, sospechar, al menos de la procedencia de los aportes hídricos y, en definitiva, entender la gran variabilidad espacial.

En primer lugar, destacar, que los niveles piezométricos de las lagunas mantienen una estrecha vinculación con el clima y con la meteorología, y cada uno de estos factores deja su huella en unos valores hídricos concretos. Así, aunque en el apartado I.12 se comentasen algunos rasgos hídricos de las lagunas, se exponen a continuación las características más relevantes de los niveles de agua de las lagunas en relación con los parámetros mencionados:

- Hay una diferencia destacable en la altura del agua entre 1989 -año medio húmedo- y 1990 -año medio seco. Por lo general, en 1989 los niveles piezométricos son superiores a los de 1990 (laguna Chica de Villacañas y laguna de Peña Hueca). Sin embargo, en ocasiones las precipitaciones de finales de un año son las responsables de los altos niveles del siguiente, respondiendo, como es lógico, más a ciclos hidrológicos (de octubre a septiembre) que a ciclos anuales (de enero a diciembre). En la laguna Larga de Villacañas, las fuertes lluvias otoñales de 1989, junto al aporte continuo de aguas residuales, provocaron el desbordamiento del agua por las orillas de la laguna, situación que se mantuvo hasta bien entrada la primavera de 1990, cuando la evaporación (prácticamente la única salida del agua del vaso lagunar) hace bajar los niveles piezométricos en torno a 20 cm.

- Durante 1990 el período seco en las lagunas fue más largo: 2 meses de ausencia de agua en la laguna Chica de Villacañas y 3 en la de Peña Hueca durante 1989, frente a 3 meses en la primera y 6 en la segunda durante 1990. Sin embargo, el extenso período seco de la laguna de Peña Hueca (de mayo a septiembre) no se explica únicamente por la meteorología, sino que se adelanta al mes de mayo por la extracción de la lámina de agua superficial por parte del hombre. El agua de la laguna, muy cargada en sales se la llevan en camiones cisterna para la extracción del azúcar de la remolacha. Desgraciadamente, en la actualidad, no hay un uso controlado del agua de la laguna, pudiéndosela llevar en cualquier época del año. En algunas ocasiones, cuando no hay agua en la superficie de la laguna es extraída de los pozos existentes en sus márgenes y vertida al vaso lagunar. Una vez que el agua disuelve las sales superficiales y son concentradas por evaporación, está en condiciones para ser utilizada para otros usos, llevándosela sin ningún control.

- El mínimo piezométrico se produce siempre durante el verano, debido a la acción combinada de la casi ausencia de precipitaciones (de 2 a 13 mm/mes) y la elevada evapotranspiración (160-170 mm/mes).

- El máximo piezométrico principal se observa durante el invierno o comienzo de la primavera por el efecto contrario: escasa evapotranspiración (< 40 mm/mes) y mayores precipitaciones (20-80 mm/mes). Sin embargo no en todas las lagunas el máximo coincide con el mes de mayor pluviometría, diciembre. Así, en la laguna de Peña Hueca el máximo nivel se da en enero (17,5 cm en 1990), en la laguna Chica de Villacañas en marzo (65

cm en 1990) y dicho máximo se desplaza hasta abril en la laguna Larga de Villacañas. La respuesta al ligero desplazamiento de los valores máximos debe buscarse en los aportes del agua de avenamiento de la cuenca, a las entradas de aguas subsuperficiales, y, al menos en la laguna Larga de Villacañas a la posible entrada de aguas subterráneas. Aunque esta laguna recibe aportes adicionales de aguas residuales, se considera que afecta de forma continua a lo largo del año, sin incidir, por tanto, en el máximo nivel de las aguas. En cualquier caso, los aportes de aguas residuales deberían ser mayores durante las semanas vacacionales de Navidad y verano. Sin embargo, éstas no parecen afectar al ciclo hídrico anual, máximo en abril.

- El máximo secundario es variable según las lagunas. En la laguna de Peña Hueca se produce en otoño (13 cm en septiembre de 1989), a consecuencia de la entrada de aguas meteóricas, especialmente las precipitaciones máximas en 24 horas (30 cm en septiembre de 1989), que suponen más de la mitad de la precipitación registrada en todo el mes (54 cm). Por el contrario, en las lagunas de Villacañas -Larga y Chica- los valores máximos secundarios se observan en primavera (81 cm en mayo de 1990 para la primera y 35 cm en abril de 1990 para la segunda), valores que responden al vaciado progresivo de las aguas por evaporación y más débilmente por infiltración.

Por tanto, los parámetros climático-meteorológicos intervienen de manera decisiva en la cantidad de agua existente en los humedales. Así, los años más húmedos se esperan lógicamente valores totales más elevados y viceversa en los años más secos (siempre y cuando no se modifique los usos o abusos del agua por parte del hombre). En la mayoría de las lagunas, el ciclo del agua se inicia cada año con las entradas de aguas otoñales y finaliza con el vaciado del vaso lagunar a finales de primavera o verano. La cantidad o déficit de agua vendrá explicada en buena parte por el balance de agua, tal y como se comentó en el punto de meteorología para los años 1989 y 1990.

En definitiva, si la cantidad de agua de los ríos y de las lagunas viene condicionada principalmente por los factores atmosféricos y, en los últimos años por las actuaciones del hombre, la calidad de las aguas viene condicionada por el tipo de materiales del lecho, del vaso lagunar y de la cuenca, de la riqueza de aportes hídricos, del tipo de cuenca de avenamiento y de su mejor o peor definición, dando como resultado una enorme diversidad de humedales.

IV.4. ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE LAS LAGUNAS

IV.4.1. Metodología

Alcalinidad: por el método de valoración con ácido, idóneo para aguas estancadas, y siempre analizado antes de las 24 horas siguientes a la recogida de la muestra. La alcalinidad viene expresada en ppm de CO_3Ca con un rango de 0 a 500 y una sensibilidad de 10 ppm. Aunque pensado para un máximo de 500 ppm, este método permite aumentar el rango de medida (necesario para algunas de las lagunas muestreadas), aumentando el ácido valorador hasta que se produzca el último punto de valoración, esto es, el cambio de color de azul-verde a rosa.

Amoníaco (Nitrógeno amoniacal): determinación colorimétrica por medio del reactivo de Nessler. Se obtiene un rango de medida entre 0,03 y 2,5 ppm de NH_4^+ y una sensibilidad de 0,03 ppm. Como este método presenta interferencias con el color y la turbidez de las aguas, en el caso de la laguna Larga de Villacañas, fue necesario en todos los análisis minimizar la turbiedad mediante filtración. Las muestras fueron analizadas antes de las 24 horas siguientes a su recogida y almacenadas en nevera (temperatura de 4°C).

Algunos meses las muestras fueron analizadas siguiendo el método ionométrico, en el que el rango de medida más habitual es de 0 a 50 mg/l de NH_4^+ , pero mediante dilución de la muestra el rango puede ampliarse considerablemente.

Cloruros: método de valoración con nitrato de plata y dicromato potásico. El rango de medida es de 4 a 200 ppm de Cl^- y la sensibilidad de 4 ppm. Aunque este rango es insuficiente para el análisis de las lagunas manchegas, el método permite diluir las muestras para incrementar el rango de medida, multiplicando, claro está, el resultado por el factor de dilución.

La gran variabilidad mensual y anual en el contenido de cloruros de cada laguna y las notables diferencias de salinidad entre las cuatro lagunas estudiadas, hacen que los factores de dilución sean en cada muestra diferentes, no pudiendo recomendar un número determinado que faciliten análisis posteriores.

El análisis de los cloruros no requiere ningún tratamiento de almacenaje o transporte especial y las muestras se mantienen sin cambio alguno en recipientes de plástico o vidrio al menos durante 7 días.

Cromo (hexavalente): por colorimetría con difenil carbohidracida y analizada la muestra antes de las 24 horas siguientes a la recogida para evitar la absorción del envase plástico. El rango de medida es de 0,05 a 1,0 ppm de Cr_6^+ y la sensibilidad de 0,05 ppm.

Dureza total, dureza de calcio y de magnesio: realizado por el método de valoración con EDTA sódico (etilendiamida tetracetato de sodio), que se lleva a cabo a pH 10,0 y el final de la reacción viene detectada por medio del indicador rojo de eriocromo, que tiene ese color en presencia de calcio o magnesio y un color azul cuando estos elementos han sido sustraídos.

Las muestras de agua pueden ser almacenadas hasta su análisis en recipientes de plástico o vidrio refrigerados a 4°C durante 7 días, sin que se modifiquen las concentraciones totales de iones de calcio y de magnesio.

El método de EDTA permite analizar las muestras de agua con un rango de 0 a 200 ppm de dureza total y una sensibilidad de 4 ppm. Como en el caso de los cloruros, fue necesaria la dilución de las muestras, pues los valores de dureza superan ampliamente la cifra señalada. Igualmente, no se puede recomendar un factor de dilución concreto para cada laguna debido a la gran variabilidad mensual y anual de las aguas.

La dureza de calcio: se obtiene también por valoración agregando a la muestra hidróxido sódico al 6%. Los resultados vienen expresados en ppm de dureza de calcio de carbonato de calcio.

La dureza de magnesio: se obtiene por diferencia entre el resultado de dureza total y dureza de calcio.

Fluoruro: método colorimétrico basado en la reacción entre el fluoruro y una laca de tintura de zirconio. El fluoruro reacciona con la laca de la tintura, disociándose una parte de la misma en un ion complejo incoloro y tintura. Las muestras se pueden almacenar y refrigerar en recipientes de plástico. El rango de medida es de 0,04 a 1,11 ppm y la sensibilidad de 0,04 ppm.

El contenido de fluoruros de las lagunas manchegas sólo fue analizado en algunos meses de las dos series anuales debido, a que muestra interferencias positivas en presencia de cloruros (> 7.000 mg/l), sulfatos (> 200 mg/l) y fosfatos (> 16 mg/l), -al menos los dos primeros muy elevados en las aguas muestreadas-, no pudiendo discernir si realmente existe cierta cantidad de fluoruros o si el resultado obtenido es fruto de las interferencias con los componentes mencionados.

Fosfatos bajos: método colorimétrico que se obtiene mediante la reducción de los fosfatos con ácido ascórbico. El rango de medida es de 0,05 a 5 ppm y la sensibilidad de 0,05. En tres de las lagunas muestreadas (Laguna Chica de Villacañas, laguna de Peña Hueca y laguna del Masegar), este rango fue suficiente para conocer la variabilidad mensual y anual. Sin embargo, en el caso de la laguna Larga de Villacañas, los vertidos continuos de aguas residuales sin depurar dan como resultado concentraciones superiores a 5 ppm durante todos los meses del año, por lo que obligó a elegir otro método.

Se analizan entonces los denominados *fosfatos altos*, siguiendo el método colorimétrico con ácido vanado-molibdenofosfórico. Aquí el rango se amplía hasta 60 ppm, aunque la sensibilidad del análisis desciende a 1 ppm.

Los análisis de los fosfatos -por uno u otro método- se llevaron a cabo siempre en las 24 horas siguientes a la recogida de las muestras.

Hierro: método colorimétrico con bipyridil, en el que el hierro férrico se reduce a ferroso formando un compuesto coloreado y permitiendo la medida del hierro total. Las muestras se analizaron en las 24 horas siguientes a su recogida, con el fin de evitar la oxidación del hierro, esto es, que el hierro ferroso pase a férrico. El rango de medida es de 0,1 a 5,0 ppm, con una sensibilidad de 0,1 ppm.

Nitratos: Al igual que en el caso de los fosfatos, el contenido de nitratos de las aguas de las lagunas manchegas fue analizado mediante dos métodos diferentes en base al rango de medida. Estos son:

- Método colorimétrico mediante reducción por cadmio, que se aplica a la determinación de nitratos o a la combinada de nitritos-nitratos, con un rango de 0,3 a 3,5 ppm y una sensibilidad de 0,3 ppm.

- Método ionométrico, en el que el rango de medida es ilimitado. En las curvas obtenidas para las medidas de las aguas de las lagunas manchegas la sensibilidad estimada es de 10 ppm.

En ambos casos, las muestras fueron analizadas siempre antes de 24 horas.

Nitritos: por el método colorimétrico de diazotización, en el que el rango es de 0,04 a 1,0 ppm de NO_2^- y la sensibilidad de 0,04 ppm. Las muestras fueron analizadas entre las 24 y 48 horas siguientes a su recogida, guardándolas hasta entonces en nevera (a 4°C).

En general, los análisis no presentaron interferencias, excepto en la laguna Larga

de Villacañas, donde en algunos meses, la alcalinidad superior a 600 ppm origina una reducción en los resultados, debido a las alteraciones del pH.

Oxígeno disuelto: medido *in situ* con el oxímetro de CRISON, oxi 92 (WTW).

pH: medido con el pH-metro 506 (electrodo combinado) de Crison, siempre *in situ*.

Sílice: por colorimetría, mediante la reducción del complejo molibdato de sílice con ácido ascórbico, dando lugar a un color azul intenso. El rango es de 0,03 a 2,5 ppm de sílice y la sensibilidad de 0,03. Las muestras en recipientes de plástico y refrigeradas a 4°C se conservan hasta una semana sin cambios en la concentración de sílice. Por lo general, este método no es válido para las aguas de las lagunas, ya que el rango resulta insuficiente, y no pudieron ser analizadas por otros métodos. Así, los resultados obtenidos son simplemente orientativos y útiles para futuras investigaciones.

Sulfatos: método colorimétrico, en el que el ion sulfato precipita en un medio ácido con cloruro de bario para formar cristales de sulfato de bario en proporción a la cantidad de sulfato presente. Al igual que para la sílice, las muestras de sulfatos se pueden conservar por refrigeración (4°C) hasta 7 días en recipientes de vidrio o plástico sin cambio alguno en la concentración. Este método está pensado para un rango de medida entre 0 y 100 ppm de SO_4^{2-} y una sensibilidad de 2,0 ppm, pero permite analizar las muestras diluidas con agua destilada y multiplicar el resultado final por el factor de dilución. Este procedimiento será necesario en todas las aguas de las lagunas estudiadas debido a las altísimas concentraciones del ion sulfato.

Sulfuros: método colorimétrico, en el que el ion sulfuro reacciona con la aminodimetilanilina y cloruro férrico para producir azul de metileno en proporción a la concentración de sulfuros. El rango de medida va de 0,05 a 2,0 ppm y la sensibilidad es de 0,05.

Las muestras requieren ser tomadas con la mínima aireación posible, por cuanto que el sulfuro se volatiliza por aireación y todo oxígeno que se tome destruirá los sulfuros por acción química. Se realizaron análisis puntuales en las cuatro lagunas, (no series mensuales) en los momentos de menor aireación de las aguas, esto es, en primavera-verano, según las lagunas. Dichos análisis se llevaron a cabo *in situ* con la ayuda de la maleta Lamotte para análisis de aguas. Las muestras deben ser analizadas antes de que transcurran 3 minutos desde su recogida, o conservarse agregando una solución de acetato de zinc a razón de 2 ml por litro de muestra.

Taninos: método colorimétrico con ácido de tungsteno, donde el rango de medida es de 0 a 10 ppm y la sensibilidad de 0,1. Los análisis sólo se realizaron puntualmente en las lagunas en que se sospechaba una posible contaminación industrial.

Turbiedad: por el método de absorción. Los resultados se expresan en unidades de turbiedad de formacina (UTF), con un rango de 5 a 400 y una sensibilidad de 5 UTF.

Como síntesis se debe recordar que, para los análisis de las aguas hay que tener un especial cuidado en la recogida de la muestra, el transporte y el almacenaje de la misma. Entre los principales cuidados se destacan los siguientes:

- conocer exactamente qué parámetros tienen que analizarse *in situ* y cuáles permiten ser almacenados. Entre los primeros están: el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y el sulfuro.
- La toma de la muestra, en recipientes de plástico o vidrio, debe realizarse llenando al máximo las botellas, con el fin de evitar la entrada de aire que pueda modificar alguno de los componentes a analizar.
- Para el transporte de la muestra hay que tener presente la temperatura ambiental, pues, según todos los manuales de análisis de aguas, ninguna muestra debería someterse a temperaturas por encima de 25°C. Sin embargo, las aguas de las lagunas manchegas están con frecuencia a más de 25°C durante el verano. Por ello, es recomendable especialmente en esta época tener un cuidado minucioso con el transporte y almacenaje de las muestras, o bien, analizarlas *in situ*, como se hizo durante los veranos de 1989 y 1990. Para esto es muy útil la utilización de la maleta Lamotte para análisis de aguas.
- En general, los parámetros que requieren ser analizados antes de las 24/48 horas siguientes a la recogida de la muestra son: la alcalinidad, el cromo, todos los compuestos derivados del nitrógeno (amoníaco, nitratos y nitritos), el fosfato, el hierro y la turbiedad. De éstos, la mayoría podrían almacenarse hasta una semana añadiéndole algún "conservante" (como por ejemplo, el ácido sulfúrico para el nitrógeno, y el fósforo). No obstante, esto conlleva la recogida de varias muestras de agua por cada laguna, y aplicarles distintos tratamientos en función del parámetro que se quiera analizar. Dicha solución suele ser más engorrosa que recoger una sola botella de agua por laguna y realizar los análisis de los diferentes parámetros con un orden temporal determinado.
- Los parámetros que permiten el almacenaje de la muestra hasta una semana son el cloruro, la dureza total, la dureza de calcio y de magnesio, el fluoruro, la sílice y el sulfato.
- Para los análisis de las aguas de las lagunas manchegas estudiadas se emplean las muestras siempre diluidas para el ion cloruro, la dureza del agua (total, de calcio y de magnesio) y el ion sulfato. El factor de dilución variará en función de la época del año y del tipo de agua.

IV.4.2. Interpretación de los análisis de las aguas

A. Laguna Chica de Villacañas o Gramosa

Localizada al SE del pueblo de Villacañas, tiene una superficie máxima de 0,08 Km² sobre una altitud de 657,8 m. La forma de la laguna, los materiales que le sirve de base y el entorno ya fue descrito en el apartado II.4.1, pero se recordará que presenta un fondo totalmente plano y está desarrollada sobre sedimentos aluviales y evaporíticos con un importante contenido en yeso. La laguna está limitada en su flanco E y SE por unos destacados bancos yesíferos antiguamente explotados en cantera y afectados por procesos de disolución.

En cuanto a los usos y aprovechamientos de la laguna, en la actualidad no se conoce ninguno en la lámina de agua, pero sus márgenes están sometidas a pastoreo y sirven, además, de vertedero de escombros (N y NW de la laguna) y de basuras (al SE de la misma). A su vez, es preciso destacar que está rodeada al S por tierras de cultivo, fundamentalmente dedicadas a cereales.

Es prácticamente imposible establecer la cuenca de drenaje de la laguna, pues la mayor parte del terreno que la circunda muestra claras evidencias de encharcamiento, sin que puedan establecerse cuencas diferentes para las distintas lagunas de Villacañas (Larga y Chica) y los numerosos "charcones temporales", distribuidos desde la margen derecha del río Riánsares (al W de la laguna Chica) hasta el mismo pueblo de Villacañas situado muy próximo a las estribaciones más meridionales de la Sierra del Romeral (al NE de la Laguna). Se trata, por tanto, de un área casi arreica, donde no existe ningún reguero que llegue hasta la laguna, ni siquiera temporal. (Ver fig.45).

Las aguas de la laguna proceden principalmente de la caída directamente por precipitaciones sobre un suelo casi impermeable, y en menor medida, del drenaje superficial y subsuperficial de algunos sectores de su entorno, que lentamente avenan hacia el área ligeramente más baja -la laguna Chica-.

Debido a la gran vinculación de las aguas de la laguna a la meteorología presenta un período seco estival, más o menos largo (de dos a cuatro meses), dos estaciones -otoño y primavera- con escasos centímetros de altura del agua (<15 ó 20 cm) y otra -el invierno- con el máximo nivel de agua (50-65 cm).

La mayor o menor duración de las aguas en el vaso lagunar, la procedencia o la intensidad con que hayan sido precipitadas, o removidas por el viento (recuérdese que de 4 a 5 meses al año la laguna sólo tiene de 1 a 12 cm de agua), darán lugar a un mejor o peor lavado de los materiales de la cubeta. Así, los análisis de las aguas realizados durante dos ciclos anuales traducen las tendencias mensuales y anuales de la calidad del agua de la laguna Chica, cifras que pueden observarse en los cuadros 36 y 37, y que a continuación se detallan.

La alcalinidad presenta un rango entre 106 y 631 ppm, con valores casi todo el año entre 100 y 250 ppm y un pico en la tendencia anual a finales del otoño (con 390 ppm en noviembre de 1989 y 631 ppm en diciembre de 1990).

A pesar de tener la fábrica de puertas "Mavisa" muy próxima a la laguna, los análisis de agua no muestran contaminación. No obstante, sí revelan aguas muy duras debido a su alto contenido en sales, predominando los sulfatos y cloruros sobre la dureza total (iones de calcio y de magnesio). Pero, es difícil establecer cuál es el orden de disolución de cada uno de los iones en el agua, pues varían de un año a otro. Así, como se advierte en la figura 49, en 1989 destaca la mayor concentración de sulfatos (87.500 ppm) en el mes de abril, seguida en mayo de la mayor dureza total (13.003 ppm de Ca^{++} y 10.449 ppm de Mg^{++}), para alcanzar en junio el pico de cloruros (109.781 ppm). Esta tendencia de disolución (sulfatos-dureza-cloruros) varía en 1990, alcanzándose primero el máximo de dureza total en junio (35.432 ppm), mientras que los sulfatos y cloruros no alcanzan la máxima concentración anual hasta el mes de octubre (115.000 y 109.781 mg/l respectivamente). Independientemente de las variaciones anuales en el orden de disolución de las sales en el agua cada uno de las sales tienen las características siguientes:

Los cloruros se encuentran en concentraciones que varían entre 1.633 y 109.781 ppm, aunque este último valor es único en los dos años muestreados. Lo normal es que los valores más elevados de cloruros no excedan de los 8.000-10.000 ppm durante la primavera y otoño respectivamente.

Existe un gran contraste en los valores de los dos años muestreados, siendo muy superiores en 1989, seguramente gracias a que las precipitaciones más abundantes de este año facilitaron un mayor lavado de las sales de la cuenca y de la propia cubeta. Así, la máxima concentración registrada el mes de junio fue de 109.781 ppm en 1989 con una lámina de agua de 12 cm, frente a 7.455 ppm durante el mismo mes en 1990 con una lámina de agua de 2,5 cm. Por el contrario, los valores más bajos corresponden a los meses de invierno con 2.000-4.000 ppm.

En general, la laguna Chica de Villacañas tiene una salinidad media de 19,0 ‰, con un máximo en primavera de 198,5 ‰ ó 109.781 ppm y un mínimo en invierno de 3 ‰ ó 1.633 ppm, por lo queda definida como aguas salobres todo el año (> 1.000 ppm y < 20.000), a excepción del mes anterior al estío, en la que es una salmuera (> 20.000 ppm).

La dureza total oscila entre 1.948 y 41.538 ppm, pero al contrario que en el caso anterior, aquí los valores de 1990 superan a los de 1989. En la curva de distribución de la dureza del agua se destacan dos picos; uno, similar para los dos años muestreados, en primavera (antes de secarse la laguna), con valores entre 16.000 y 36.000 ppm, y, otro, secundario en otoño (al llenarse la laguna después del estío), sólo registrado en 1990, alcanzándose el máximo bianual con 41.538 ppm a mediados de diciembre.

Prácticamente en todos los meses del año la *dureza de magnesio* es muy superior a la *de calcio*, salvo cuando la laguna inicia su ciclo anual de agua (septiembre u octubre), debido a la mayor disolución del calcio. Así, las aguas de la laguna Chica de Villacañas son en cada nuevo ciclo anual primero, "cálcicas", para pasar progresivamente a "magnésicas", describiéndose los máximos valores de magnesio en las últimas aguas del mes de junio.

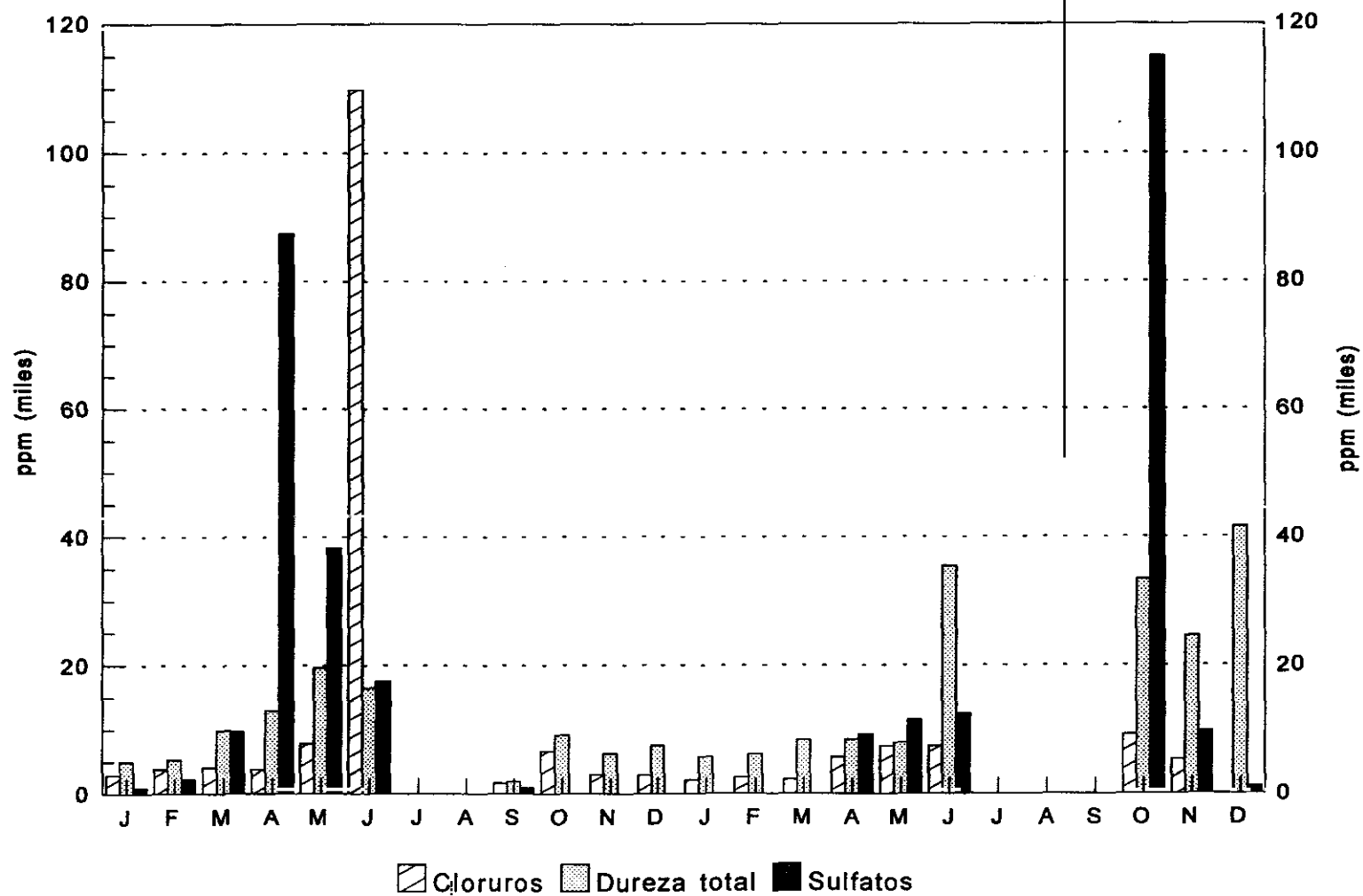
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	130	151	106	128	170	263			130	250	390	211
Cloruros	2.940	3.860	4.125	3.805	7.800	109.781			1.633	6.646	3.018	2.925
C.E mS/cm	-	7,39	8,34	-	37,00	28,90			5,12	9,30	17,34	7,80
Dureza total	5.020	5.366	9.881	13.003	19.660	16.435			1.948	9.172	6.269	7.482
D.de Ca ⁺⁺	1.340	1.674	1.909	2.554	2.327	929			1.119	1.651	684	307
D.de Mg ⁺⁺	3.680	3.692	2.100	10.449	17.332	15.506			885	1.816	5.585	4.415
Fluoruros	0,00	0,00	0,67	1,05	2,06	-			-	-	-	-
Fosfatos	0,00	0,15	0,05	0,05	0,00	1,61			0,10	0,10	0,10	0,05
Hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	Laguna	seca	0,55	0,00	0,00	0,00
N.amoniacal	0,37	-	1,90	0,80	2,00	4,00			2,10	>3,00	0,49	2,01
Nitratos	1,06	0,70	-	-	36,86	48,16			4,14	0,70	2,14	2,20
Nitritos	0,20	0,20	0,66	-	0,43	0,00			0,86	0,55	0,01	0,07
pH	-	8,07	9,92	9,17	9,83	7,92			8,42	8,70	8,50	8,80
O ₂	7,1	6,6	4,4	6,2	2,5	2,9			3,5	9,0	1,8	-
Temperatu. °C	10,8	8,9	8,3	7,5	23,6	23,3			26,0	19,0	18,8	12,3
Sílice	0,13	0,06	0,50	0,50	0,57	1,35			>2,50	0,00	0,85	0,67
Sulfatos	975	2.250	9.750	87.500	38.300	17.500			950	-	-	-
Turbiedad	20	16	23	38	60	138			20	20	20	22

Cuadro 36.- Análisis de las aguas de la laguna Chica de Villacañas de 1989. Valores expresados en ppm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	130	275	170	134	173	157				269	241	631
Cloruros	2.166	2.592	2.201	5.7156	7.455	7.455				9.230	5.325	-
C.E mS/cm	5,50	7,05	7,10	13,80	>20,00	>20,00				15,00	10,0	15,2
Dureza total	5.762	6.218	8.411	8.462	7.998	35.432				33.325	24.510	41.538
D.de Ca ⁺⁺	860	1.509	2.683	4.644	3.439	3.462				17.200	9.400	9.804
D.de Mg ⁺⁺	4.902	4.708	5.728	3.818	4.559	10.212				16.125	15.110	31.734
Fosfatos	0,00	0,35	0,10	-	0,45	5,00				0,9	0,47	0,35
Hierro	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,10	Laguna	sin	agua	0,06	0,47	0,35
N.amoniacal	-	-	-	>3,00	>3,00	>3,00				-	-	-
Nitratos	2,33	1,06	0,44	0,00	42,44	256,00				2,2	1,89	-
Nitritos	0,05	0,09	0,00	0,01	0,03	0,03				0,01	-	-
pH	8,60	8,50	9,90	9,90	9,70	8,00				-	-	-
O ₂	-	-	-	12,0	11,1	2,2				-	14,3	3,5
Temperatura °C	7,8	-	-	11,5	19,9	27,2				-	14,2	12,8
Sílice	0,88	0,13	2,50	0,18	0,01	2,20				>2,5	0,83	0,13
Sulfatos	-	-	-	9.300	11.500	12.500				115.000	9.750	1.150
Turbiedad	26	35	24	15	31	264				60	36	271

Cuadro 37.- Análisis de las aguas de la laguna Chica de Villacañas de 1990. Valores expresados en ppm.

Fig.49.- Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en la laguna Chica de Villacañas. 1989-1990



Los sulfatos están presentes con valores muy contrastados entre el mínimo en enero de 1989 (950 ppm) y el máximo en octubre de 1990 (115.000 ppm). La distribución bianual muestra dos picos muy claros: uno, en abril de 1989 con 87.000 ppm -con una disolución anterior a los cloruros y a la dureza-, y otro, en octubre de 1990 con 115.000 ppm durante las primeras aguas del ciclo, al igual que la dureza de calcio. Puede adelantarse, que las condiciones favorables a la disolución de los iones cloruro y sulfato en el agua y su posterior concentración durante la primavera de 1989 no se repiten en 1990.

El resto del año los sulfatos no superan los 20.000 ppm (valores similares a los cloruros), con los mínimos anuales en diciembre y enero.

En conjunto, la laguna Chica de Villacañas queda definida como una laguna salobre, de aguas sulfatadas-cloruradas-magnésicas.

El hierro está ausente de las aguas de la laguna durante 5 meses al año y, cuando aparece no son más que pequeñas trazas (máximo de 0,55 ppm en septiembre de 1989), sin que puedan clasificarse como contaminación, pues las aguas no se utilizan ni para usos domésticos (máximo permitido de 0,2 ppm), ni para usos industriales, en el que no está permitida traza alguna.

Dentro de los nutrientes analizados se han obtenido los siguientes valores y tendencias:

El fósforo aparece con un rango entre 0 y 8 ppm y la distribución anual está bien definida en los dos años muestreados. Prácticamente todo el año el contenido de fosfatos es inferior a 0,5 ppm, valor normal en aguas naturales sin contaminar. Sin embargo, estos valores ascienden considerablemente en el mes de junio (1,61 en 1989 y 8,0 en 1990). La explicación debe buscarse en la mayor concentración de los solutos en el agua (de 2-3 cm de altura), pero, sobre todo, por el lavado superficial de las tierras de cultivo próximas a la laguna. Estas concentraciones de fósforo son favorables a la proliferación de algas, muy numerosas durante los meses de mayo y junio, hasta que la elevada evapotranspiración agota el agua de la laguna y posteriormente seca las numerosas algas que tapizan el suelo.

El nitrógeno amoniacal revela poca información sobre la posible contaminación de las aguas debido a las continuas interferencias encontradas en los análisis con las altas concentraciones de sales. Al utilizarse un método colorimétrico, se forma un líquido amarillo-blanquecino opaco que resulta casi siempre fuera de rango, esto es, con valores superiores a 2,5 ppm. Los meses que no han mostrado interferencias por la menor salinidad, dan valores entre 0,4 y 2 mg/l, cifras que pueden incorporarse tan sólo por las aguas de lluvia. Dicha cifra sólo es superada durante el mes de junio (4 ppm) debido a la alta concentración de sus aguas (medida realizada en el ionómetro).

Los nitratos con un rango entre 0 y 256 mg/l presentan un gran contraste entre los valores de mayo (37 ppm en 1989 y 42 ppm en 1990) y junio (48 y 256 ppm respectivamente), y el resto del año (inferiores a 4,5 ppm). Durante esos meses los valores encontrados superan las cifras aptas para las aguas naturales no contaminadas. Hay, por

tanto, un exceso de nutrientes (recuérdese que hay además gran cantidad de fosfatos) que dan lugar a la proliferación de algas. Este exceso de nutrientes y, por tanto, una ligera contaminación agrícola, viene reforzado por la elevada relación existente entre el contenido de fósforo y nitratos en las aguas de la laguna (con un coeficiente de correlación de 0,96, y R^2 de 91,5%).

Los nitritos aparecen con valores entre 0 y 0,86 ppm, pero destacan dos estaciones -primavera y otoño- por tener valores superiores a 0,2 ppm, cifra que señala un medio rico en nutrientes, aunque esta tendencia sólo aparece en 1989.

El pH es todo el año básico debido a la elevada cantidad de sulfatos presentes en las aguas de la laguna. El rango oscila entre 7,92 y 9,92. Por lo general, el pH es más elevado en marzo y mayo (próximos a 10), y los más bajos en el mes de junio (7,72 y 8,00 para 1989 y 1990 respectivamente)

La turbiedad, con valores entre 15 y 271 unidades de turbiedad de formacina, revela buena parte del año aguas bastante transparentes (< 20 UTF). Sin embargo, estos valores ascienden considerablemente en el mes de junio, debido a que la intensa cantidad de algas movidas débilmente por el viento remueven la somera lámina de agua de finales de primavera (138 y 264 UTF en 1989 y 1990 respectivamente). Durante este mes los altos niveles de turbiedad se producen con valores de O_2 muy bajos $< 2,9$ mg/l, debido al consumo de O_2 por parte de las algas y de las bacterias reductoras. Estas cifras son superadas en diciembre de 1990 (271 UTF), pero, en este caso, el nivel de O_2 es notablemente superior (35 mg/l), debido a la ausencia de algas y a la escasa actividad de los procesos reductores -consumidores de oxígeno- durante el invierno (por las bajas temperaturas) como se comentó en el capítulo anterior.

A su vez, hay una elevada correlación entre los valores de O_2 y la *conductividad eléctrica*, de modo que altos valores de C.E. se dan con bajos de O_2 y viceversa.

En base a los comentarios aquí expuestos la laguna Chica de Villacañas queda clasificada como laguna estacional de aguas salobres, sulfatada-clorurada-magnésica, con exceso de nutrientes nitrogenados en primavera y ausencia de contaminantes el resto del año.

B. Laguna Larga de Villacañas

La laguna Larga de Villacañas está situada al S-SW del pueblo del mismo nombre a una altitud 658-659 m sobre el nivel del mar. Aunque originariamente fue una laguna de carácter estacional⁷⁵, secándose durante los meses de julio y/o agosto, y con alturas máximas de agua de 50 cm, en la actualidad se ha convertido en una laguna permanente,

⁷⁵. - Santos Cirujano (1980): Las lagunas manchegas y su vegetación, Ana. Jardín Botánico de Madrid, 37 (1), pág.164.

con una oscilación en la altura del agua de 20-30 cm a 150 cm. Esto es debido a que recoge las aguas del pueblo de Villacañas, que censó en el año 1993 un total de 8.920 habitantes, y además, tiene nueve fábricas destinadas a la producción de puertas de madera (*Puertas Cuestas, P. Villacañas, P. Mavisa, P. San Rafael, Moldurera Castellana, P. Dintel, P. Barmovi, P. Visel, P. Derma y Poma*), que han ido estableciéndose desde 1972 y, de igual forma, vierten sus aguas residuales a la laguna.

Todas las aguas adicionales vertidas a la laguna sin depurar provocan un aumento de la cantidad del agua (la laguna pasa de ser estacional a permanente), pero, sobre todo, causan una drástica transformación de la calidad del agua. Los análisis mensuales de las aguas, mostrados en los cuadros 38 y 39, darán luz acerca del tipo y grado de contaminación, así como de su duración a lo largo del año, (si aquélla permanece todo el año, o si se produce de manera eventual).

Además de las aguas residuales del pueblo de Villacañas, la laguna Larga de Villacañas recibe aportes naturales procedentes de las aguas de avenamiento del sector W y SW a través de pequeños y escuálidos regueros temporales. La cantidad de agua que llega por superficie (aunque no está medida) debe ser escasa, pues dichos regueros avenan los relieves de topografía ondulada y las "mesas" del sector SW de la laguna, y éstas muestran en algunos sectores arreísmo que viene condicionado por el gran desarrollo de dolinas en los techos de las mesas.

Si por el sector W al menos tiene algún reguero temporal, por el E la laguna está separada del cauce actual del río Riánsares unos 2 km por relieves de topografía plana, que presentan una red de drenaje sin organizar, con numerosos focos endorreicos menores, que sólo ocasionalmente llegan a formar "charcones".

En general, la laguna está rodeada en superficie por materiales gruesos del plioceno, pero, para entender la calidad de las aguas de la laguna hay que tener presente que el triásico aflora en una pequeña mancha al S de la laguna y se encuentra próximo a la superficie en las inmediaciones del pueblo de Villacañas (a 3 y 25 m de profundidad según sondeos mecánicos). Dichos sondeos atribuyen al triásico una posición próxima a la superficie en Villacañas, pero va descendiendo hacia el E, esto es, hacia el cauce del río Riánsares. Por lo tanto, se suponen aportes de aguas subsuperficiales (posiblemente también subterráneas) desde la cuenca de este río a la laguna Larga de Villacañas. Así, las arcillas triásicas actúan como capa impermeable que facilita el movimiento de las aguas subsuperficiales hacia cotas más bajas (la laguna Larga) y, a su vez, aportan a dichas aguas sales, especialmente cloruros y sulfatos.

Respecto a los usos, prácticamente todo el terreno que circunda la laguna está cultivado (cereales, remolacha y vides) y cada vez son más frecuentes las prácticas de regadío en primavera o principios del verano según el tipo de cultivo. Además, los bordes de la laguna y el propio vaso sirven de vertedero de basuras y de cualquier tipo de desechos (electrodomésticos, neumáticos, escombros, botellas, etc) especialmente en los extremos norte y sur.

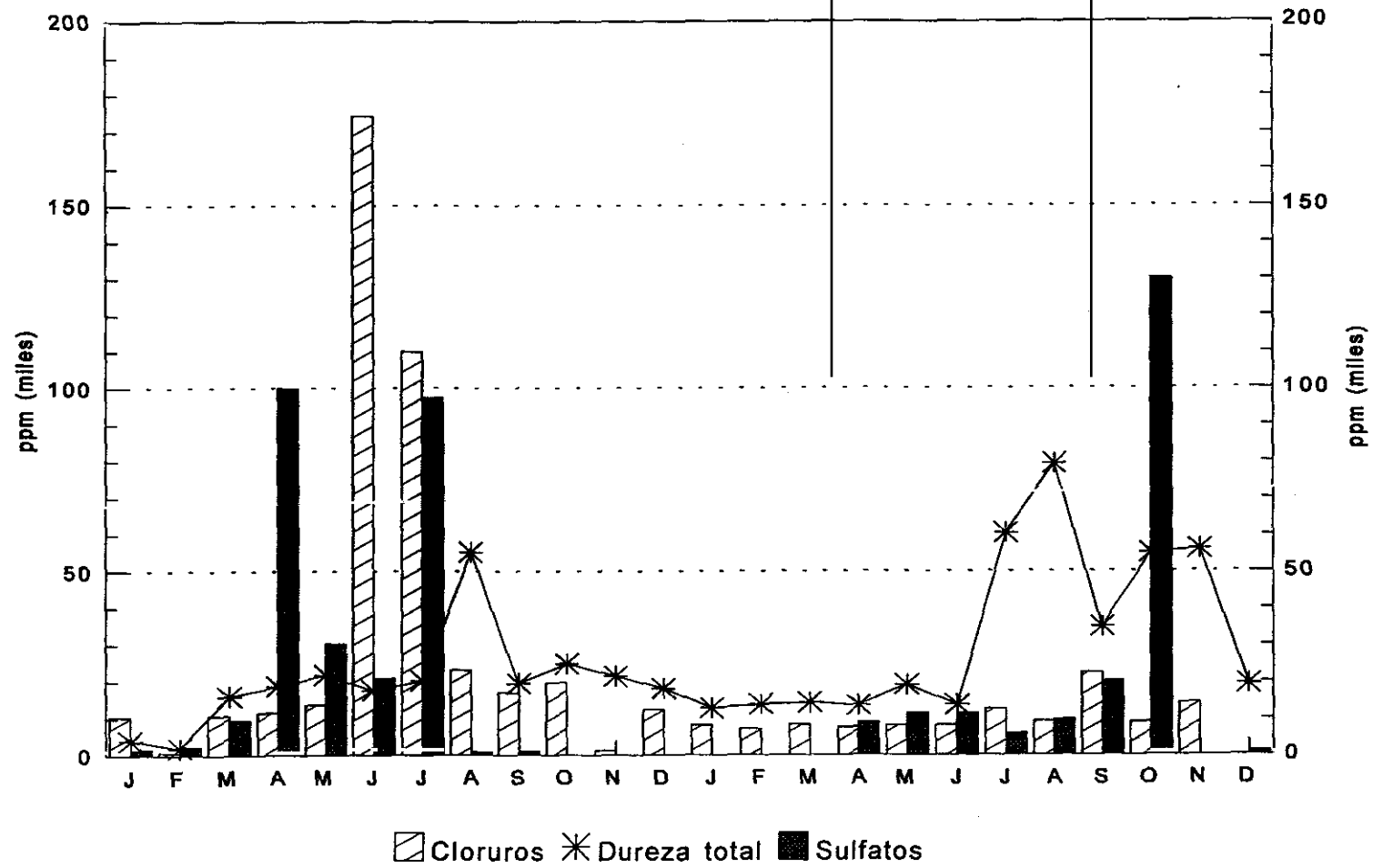
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	665	784	704	610	720	609	690	725	420	810	850	570
C.E. mS/cm	1,54	2,67	14,05	>20,00	>20,00	37,50	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	20,00
Cloruros	10.410	820	10.750	11.670	13.800	174.276	110.000	23.188	17.040	19.702	1.298	12.425
Cromo	-	0,24	0,05	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-
Fluoruro	0,98	-	0,56	1,10	1,90	-	-	-	-	-	-	-
Dureza total	3.980	1.961	16.039	18.808	21.810	17.544	20.201	55.212	19.530	24.871	21.454	18.112
D.de Ca ⁺⁺	2.220	1.174	2.100	2.327	2.356	6.605	2.952	8.088	13.991	3.328	826	14.190
D.de Mg ⁺⁺	1.760	787	13.424	16.481	19.454	10.939	17.245	47.124	6.470	21.543	20.629	3.922
Hierro	0,30	0,00	0,30	0,42	0,65	0,22	0,26	0,26	0,42	0,00	0,00	1,34
N.amoniacal	-	-	8,40	16,50	4,80	10,00	4,20	5,30	7,50	5,96	1,70	7,68
Nitratos	1,1	1,0	-	-	57	110	3,8	6,4	7,4	3,2	4,8	1,8
Nitritos	0,46	0,40	-	-	1,75	1,00	0,53	0,17	1,45	0,86	8,66	0,07
O ₂	6,9	7,5	4,4	6,3	15,8	2,1	1,3	3,8	10,0	18,5	-	-
Temperat. °C	8,0	11,0	11,1	11,2	28,0	26,6	32,4	34,0	23,0	18,4	14,2	12,6
pH	7,12	8,33	7,85	7,54	8,90	8,49	8,80	8,70	8,80	9,00	8,40	8,30
Fosfatos	>5,00	4,94	5,12	>5,00	4,29	5,89	>5,00	>5,00	2,80	>5,00	>5,00	>5,00
Sílice	>2,50	0,20	0,33	0,33	0,40	1,27	0,70	0,45	0,01	>2,50	1,27	>2,50
Sulfatos	1.500	2.300	9.500	100.000	30.400	20.900	97.500	975	1.025	-	-	-
Turbiedad	64	76	100	125	104	142	129	142	125	-	>400	>400

Cuadro 38.- Análisis de las aguas de la laguna Larga de Villacañas de 1989. Valores expresados en ppm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	625	470	700	564	526	712	851	880	975	895	770	702
Cloruros	8.236	7.189	8.343	7.562	8.165	8.165	12.567	9.230	22.471	8.875	14.200	-
C.E. mS/cm	13,30	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00	18,30	>20,00	>20,00	>20,00	16,80	12,80	14,50
Dureza total	12.797	13.777	14.293	13.545	19.144	13.674	60.415	79.292	34.848	55.040	56.000	19.350
D.de Ca ⁺⁺	4.747	1.342	890	2.271	3.577	3.462	25.026	37.840	16.400	32.164	17.600	6.321
D.de Mg ⁺⁺	8.050	12.435	13.403	11.275	15.566	10.212	35.389	41.452	18.448	22.876	38.400	13.029
Fosfatos	>5,00	>5,00	>5,00	27,60	20,00	16,30	23,00	22,60	20,00	22,60	23,50	27,80
Hierro	0,06	0,00	0,06	-	-	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,18
N.amoniacal	-	-	-	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	-	-	-	-	-
Nitratos	6,5	4,4	1,0	3,4	52	75	-	2,1	1,7	1,6	2,1	-
Nitritos	3,63	0,06	0,02	0,05	0,06	0,05	-	0,20	0,02	0,02	-	-
O ₂	-	-	-	5,0	19,6	6,6	-	10,0	-	-	13,5	18,3
Temperat. °C	5,8	-	-	12,8	20,9	20,9	-	25,0	-	-	5,5	8,4
pH	8,9	8,9	8,4	8,0	8,9	8,8	-	-	-	-	-	-
Sílice	>2,50	1,30	>2,50	>2,50	>2,50	0,25	3,50	0,25	0,57	0,20	0,35	0,20
Sulfatos	-	-	-	8.900	11.500	11.500	5.875	9.750	20.000	130.000	-	1.100
Turbiedad	250	280	78	54	96	96	-	-	-	133	104	76

Cuadro 39.- Análisis de las aguas de la laguna Larga de Villacañas de 1990. Valores expresados en ppm.

Fig.50.-Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en la laguna Larga de Villacañas.1989-1990.



Con todo ello, las aguas de la laguna se caracterizan, en primer lugar, por un alto contenido en sales, y el predominio de unas sobre otras la definen como clorurada-sulfatada magnésica. Sin embargo, cada una de las sales experimenta una evolución (concentración-disolución en las aguas) diferente a lo largo del año.

Los cloruros son las sales que alcanzan la mayor concentración absoluta, pero, como en caso de la laguna Chica de Villacañas, existe un gran contraste entre los valores obtenidos en 1989 y los de 1990. En el primero, vuelve a repetirse un gran pico en junio (174.274 mg/l) y julio (110.000 mg/l), mientras que en el segundo los valores no superan los 20.000 mg/l. En general, los máximos corresponden al inicio del verano y los valores más bajos al invierno, aunque las concentraciones muestran una gran sensibilidad a los aportes de aguas meteóricas (dulces), y a los incrementos adicionales de aguas a la laguna, reduciendo considerablemente las concentraciones de los cloruros (en torno a 1.000 mg/l).

En general, la laguna Larga presenta una gran oscilación en cuanto a los valores de *salinidad* de sus aguas, desde cifras que pudieran clasificarla de aguas dulces (1,51‰) en invierno, a otras máximas que la definen como salmuera o aguas hipersalinas en verano (314,60‰). No obstante, los valores medios anuales (40,87‰) la clasifican de salmuera.

Los sulfatos presentan una concentración similar a los cloruros, con valores entre 130.000 mg/l y 975 mg/l. Sin embargo, los valores máximos de sulfatos aparecen tanto en primavera (100.000 mg/l en abril de 1989), en verano (97.500 mg/l en julio de 1989) o en otoño (130.000 mg/l en octubre de 1990), lo que hace pensar en diferentes aportes de aguas subsuperficiales y/o subterráneas cargadas en sulfatos. Así, los máximos del verano deben explicarse por la mayor concentración de los iones en el agua debido a la escasa pluviosidad y alta evaporación; los máximos del otoño, al aporte de aguas subsuperficiales sulfatadas junto con el lavado del propio vaso lagunar y, por último, los valores máximos de la primavera deben responder a los aportes de aguas subsuperficiales.

Frente a la variación temporal de los valores más elevados, los mínimos se producen siempre en invierno, con valores muy reducidos en torno a 1.000 mg/l.

Aunque con ligeras diferencias anuales la *dureza total* del agua alcanza los valores más altos en agosto (55.212 ppm en 1989 y 79.392 ppm en 1990), coincidiendo con los niveles de agua más bajos y, los valores mínimos anuales durante los meses de invierno -de mayor cantidad de agua, precipitaciones más abundantes y menor evaporación-. Así, la tendencia anual de la dureza del agua parece responder al lavado de las aguas del vaso lagunar, sin que se vean afectadas por los aportes de aguas subsuperficiales, pues durante el verano las débiles precipitaciones mensuales (6-15 mm/mes) y el déficit hídrico de toda la comarca, no dan lugar a dichos aportes.

En cuanto al tipo de dureza, salvo excepciones, es predominantemente magnésica, pues sólo en 3 de los 24 meses muestreados (septiembre y diciembre de 1989, y octubre de 1990) la dureza de calcio fue superior a la de magnesio. Además, se produce al comienzo del ciclo, como cabría esperar, pues el Ca^{++} es más soluble que el Mg^{++} en orden de solubilidad.

Los aportes de las aguas residuales, industriales y agrícolas a la laguna Larga de Villacañas han producido importantes modificaciones en la calidad de las aguas,

introducido un elevado número de contaminantes, entre los que destacan el gran incremento de nutrientes, fundamentalmente de nitrógeno y fósforo.

El nitrógeno amoniacal: mantiene todo el año valores muy elevados, entre 5 y 16,5 mg/l, alcanzando los máximos en los meses de abril y junio y, el más bajo en noviembre (1,7 mg/l). Entre todas las causas que pueden provocar la presencia del nitrógeno amoniacal en las aguas de la laguna (por la descomposición incompleta de la materia orgánica -vegetal, animal o humana-, por las aguas meteóricas, por la reducción de los nitritos y por los abonos), parece inequívoco pensar que responde principalmente a la incorporación de las aguas fecales sin depurar del pueblo de Villacañas, pues "el hombre elimina de 15 a 20 g de urea al día"⁷⁶, mientras que las aguas meteóricas sólo incorporan "de 0,1 a 2 mg/l"⁷⁷ de amonio. Pero, en esta laguna también debe añadirse temporalmente la incorporación de amonio por abonos -explicando los valores máximos de primavera-, y la reducción de nitritos a nitrógeno amoniacal, lo que le confiere un olor fétido. En definitiva, los valores obtenidos durante los dos años muestreados son excesivos, ya que "la vida acuática puede perjudicarse en concentraciones de aproximadamente 2 mg/l de nitrógeno amoniacal a pH 7,4-8,5 "⁷⁸.

Los nitratos aparecen en las aguas con valores regulares casi todo el año (entre 1 y 7,39 mg/l), pero muestran un destacado incremento durante los meses de mayo y junio, con valores entre 51,71 y 109,52 mg/l. Casi con toda seguridad proceden de los fertilizantes nitrogenados de las tierras de labor, que son lavados rápidamente y transportados a la laguna por las aguas de escorrentía. Pero no debe descartarse, que una pequeña cantidad de los nitratos de primavera respondan a los aportes de aguas subterráneas, pues en éstas el contenido de nitratos suele ser muy superior al de las aguas superficiales.

Los nitritos, aunque están presentes en el agua en dosis muy pequeñas, por lo general, provienen de la oxidación incompleta del amoníaco y de la reducción de los nitratos mediante los procesos de desnitrificación, y ambos componentes -amonio y nitratos- se encuentran en proporciones abundantes en las aguas de la laguna-. Así, la presencia de valores de nitritos por encima de 0,1 mg/l indica existencia de procesos reductores y, sobre todo, un aporte rico de materia orgánica. Los valores obtenidos durante 1989 y 1990 oscilaron entre 0,20 y 3,63 mg/l.

Los fosfatos, que en condiciones naturales no suelen sobrepasar la cantidad de 1 mg/l, en la laguna Larga de Villacañas los valores oscilan entre 20 y 30 mg/l (datos de 1990, pues durante 1989 se utilizó el método colorimétrico con ácido ascórbico, que tenía un rango máximo de medida de 5 mg/l).

⁷⁶. - RODIER, J. (1981): *Análisis de las aguas* Cpus cit. pág.809

⁷⁷. - RODIER (1981): *Análisis de ...* Opus cit. pág.809

⁷⁸. - RODIER (1981): *Análisis de las ...* Opus cit., pág. 809

Aunque es difícil establecer una cifra a partir de la cual las aguas de una laguna están contaminadas, algunos autores señalan que " la media de fósforo total puede ser en un agua residual bruta urbana de 25-40 mg/l"⁷⁹. Aquí, 2 de los 8 meses muestreados (con fosfatos altos) tienen más de 25 mg/l y los restantes están por encima de 20 mg/l, por tanto, fácilmente puede hacerse una idea de la calidad del agua de la laguna, quedando definida en apelativo más favorable como laguna contaminada.

Los fosfatos provienen del lavado de las tierras de cultivo tratadas con abonos fosfatados, pero, sobre todo, de los desechos y vertidos generados por la población de Villacañas. De todos los vertidos urbanos, entre el 60-65 % del fósforo generado por habitante y día tiene su origen en el uso de detergentes y productos de limpieza, todavía mayoritariamente fosfatados. No obstante, dada la dificultad de eliminación de los fosfatos de las aguas y de los suelos, existe una gran campaña para fabricar y consumir productos sin fosfatos, por lo que se espera que en un futuro próximo estos vertidos sean menores. Sin embargo, en ambientes de escasa movilidad de las aguas (lagunas endorreicas, lagos, embalses, etc) que, además, puedan estar conectados con aguas subterráneas, el problema actual es eliminar o, al menos, reducir la elevada contaminación.

El objetivo actual por parte de la administración es limitar el contenido de fosfatos de los ríos a 0,05 mg/l, pero no cita cuál es el óptimo para los humedales; probablemente no debería superar esta cifra, por lo que, la laguna Larga de Villacañas está muy alejada de la salubridad.

El principal problema del vertido directo de las aguas urbanas es el crecimiento desmesurado de nutrientes, pues cada individuo elimina alrededor de 3 g de fósforo y 10 g de nitrógeno al día. Estas cifras, vertidas diariamente a la laguna, dan lugar a una verdadera degradación, pudiendo ser irreversible.

Con altas cantidades de nutrientes, nitrogenados y fosfatados, es fácil imaginarse el aspecto de la Laguna Larga de Villacañas. Presenta prácticamente todo el año una densa capa de algas, cuya descomposición, junto con la de los organismos vivos asociados a ellas, originan olores podridos y ocasionalmente, gas sulfhídrico. Así, las principales consecuencias de la contaminación por nutrientes queda resumida en los puntos siguientes:

- Modificación de las características físico-químicas y biológicas de las aguas.
- Eutrofización de la laguna, con un gran crecimiento de la biomasa, consumidora de oxígeno hasta agotarlo por completo.
- Degradación de la calidad del agua, provocando un trastorno en la utilización de la laguna por su aspecto repulsivo.

Ante el aspecto degradado de las aguas de la laguna de Villacañas, se analizaron puntualmente otros posibles contaminantes durante mayo y junio de 1990. Dichos análisis dieron resultados positivos en *detergentes* (30 ppm) -por los vertidos urbanos ya comentados- y en *taninos* (> 10 ppm) -por su utilización en el proceso de teñir la madera en las múltiples fábricas de puertas del pueblo de Villacañas-. A su vez, los análisis revelan que no hay contaminación ni por *metales pesados* ni por *organofosfatos*.

⁷⁹. - MORO PUEBLA, P. y FERNÁNDEZ LÉBORANS, G. (1990): El fósforo en las aguas residuales. IMU, Ingeniería Municipal, febrero, pág. 52.

Por último, otros de los parámetros muestreados son:

La alcalinidad, es muy elevada prácticamente todo el año (entre 420 ppm en septiembre de 1989 y 975 ppm en septiembre de 1990), con valores alejados del óptimo para aguas estancadas (80-125 mg/l). Esto indica un elevado contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, que tienen como principal consecuencia la amortiguación de las variaciones del pH (entre 7 y 9).

La conductividad eléctrica es superior a 20 mS/cm prácticamente todo el año (excepto en invierno), lo que pone de manifiesto la gran salinidad de la laguna.

Los valores entre 0 y 1,34 mg/l de *hierro* señalan contaminación durante casi todos los meses de 1989 (valores > 0,2 mg/l), cifra que no se alcanza en 1990, debido seguramente al incremento del nivel del agua de la laguna.

La turbiedad, muy elevada todo el año (de 54 a 280 UTF) alcanza el máximo valor en enero y febrero de 1990, cuando tras las fuertes precipitaciones de diciembre de 1989 se remueven buena parte de los fondos. La turbidez del agua viene condicionada por el color, que varía a lo largo del año de rosáceo -por las altas concentraciones de sales durante el verano-, a verdoso -cuando hay un número excesivo de algas y plantas en descomposición, prácticamente todo el año-. Durante la primavera y verano, los altos valores de turbiedad se unen a cifras muy bajas de oxígeno disuelto, provocando la eutrofización de las aguas, como se comentó más arriba.

La laguna Larga de Villacañas queda clasificada como laguna permanente muy contaminada y eutrofizada por el exceso de fosfatos, compuestos nitrogenados, detergentes, olores fétidos, escasez de oxígeno disuelto y elevada turbiedad en el agua. Es, además una salmuera, clorurada-sulfatada-magnésica.

C. Laguna de Peña Hueca

La laguna de Peña Hueca, situada a unos 11 km al S del pueblo de Villacañas, está dividida en dos vasos lagunares, a 646,5-649 m de altitud. Todos los análisis de las aguas fueron realizados con muestras del vaso mayor, pero se supone gran similitud en las aguas de los dos vasos, pues ambos tienen aportes similares (aguas meteóricas, aguas subsuperficiales y ocasionalmente subterráneas). Además la leve diferencia de cotas hace fluir ligeramente el agua del vaso mayor al menor.

La laguna de Peña Hueca, que tiene una superficie de agua máxima de 68 ha, es la única de la estudiadas que presenta una cuenca de avenamiento bien definida, como puede observarse en la fig 51. Está enmarcada por el norte, por relieves tabulares con techo de calizas algares pliocenas, relieves en cuesta por el oeste, y relieves de topografía ondulada por el sur, alcanzando una superficie de avenamiento aproximada de 641 ha. Pero, lo más importante para comprender el tipo de agua de la laguna es conocer los materiales del mismo vaso lagunar -sedimentos evaporíticos con un alto contenido en sales- y del substrato -formado por calizas liásicas (aflorantes al SW de la laguna), triásicas, sedimentos neógenos, y materiales evaporíticos.

La laguna alcanzaba una altura de agua máxima en torno a los 30-40 cm y un período seco que no solía superar los 4 meses anuales. Pero, como se mencionó en el

apartado IV.3., en la actualidad el cuerpo de agua ha sido mermado considerablemente, alcanzando una altura máxima en invierno de unos 20 cm y el período seco puede ascender hasta 5-6 meses al año.

El motivo, es el uso indiscriminado de aguas subterráneas para regadíos, (reduciendo el volumen total de aguas y anulando en muchas ocasiones los aportes de estas aguas por descensos en el nivel freático) y, sobre todo, por el empleo de las aguas del vaso lagunar para usos industriales. Este uso modifica totalmente la distribución del agua en el vaso lagunar, pues, primero la dirigen a compartimentos rectangulares, construidos en el vaso para facilitar la recogida del agua, y una vez que ha alcanzado la concentración de sales necesaria para el proceso del azúcar de la remolacha se la llevan. Pero, también, modifica su calidad, pues, cuando la climatología no favorece a la laguna con los niveles de agua deseados, se vierten aguas procedentes de los pozos próximos a la laguna. De este modo, los ciclos naturales de agua, lavado-disolución y concentración de las sales de la laguna han sido radicalmente transformados.

Con todas las modificaciones aquí expuestas, no cabe esperar gran similitud en la tendencia de los diferentes parámetros del agua durante los dos años muestreados, pero se tratará, al menos, de exponer los rasgos más destacados de las aguas de Peña Hueca.

Los valores mensuales de los diferentes parámetros analizados se muestran en los cuadros 40 y 41.

En primer lugar, la laguna se clasifica de hipersalina por su contenido en sales, con concentraciones que varían entre los parámetros siguientes:

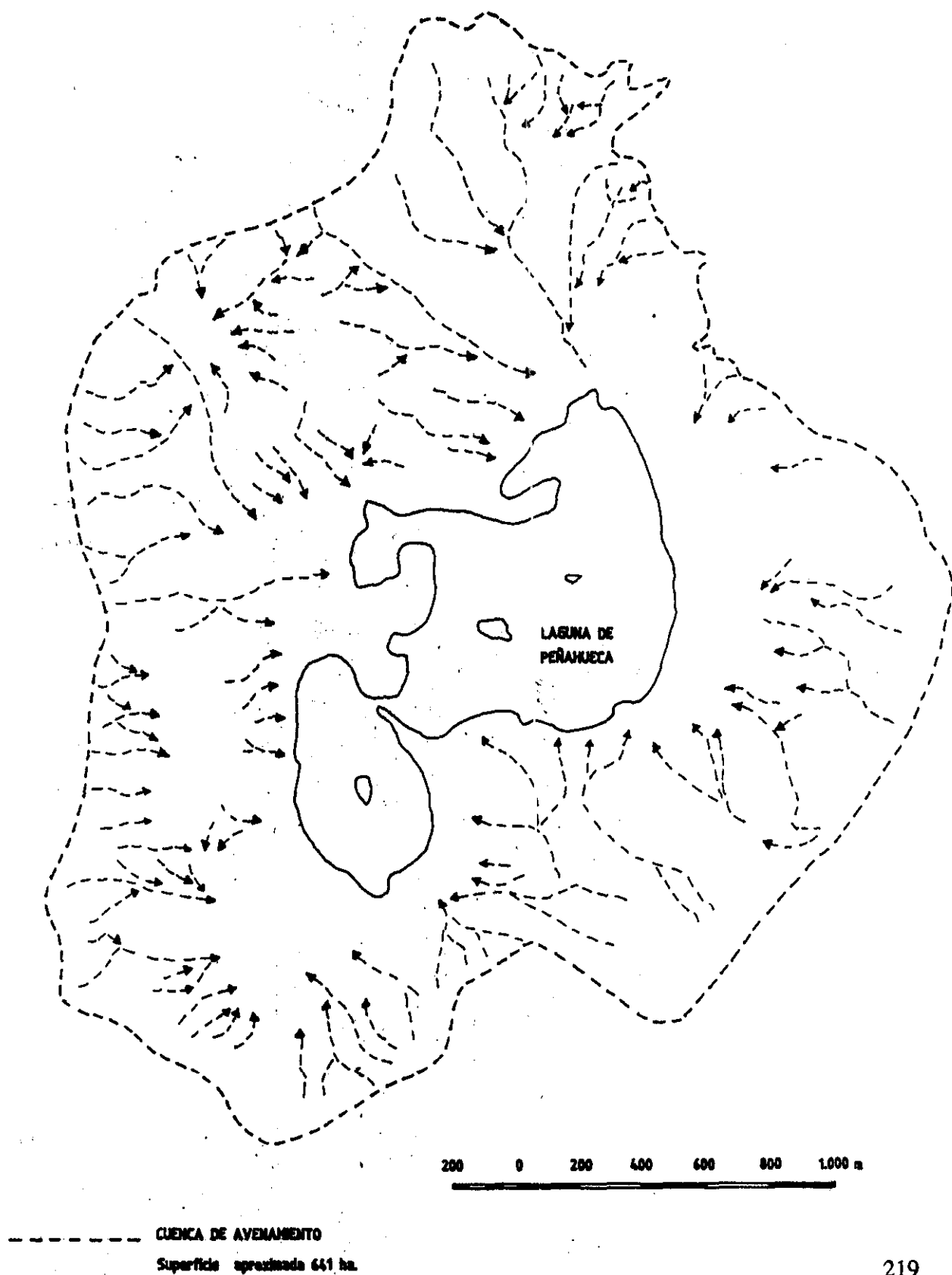
Los cloruros oscilan entre 23.500 y 213.000 mg/l, pero, mientras que 1989 respondería a una concentración normal -máxima en primavera (antes de secarse la laguna) y mínima en invierno-, durante 1990 ocurre lo contrario -valores máximos en invierno (213.000 mg/l en enero) y mínimos en primavera (23.500 mg/l en abril)-.

La *salinidad* es muy elevada todo el año, con valores medios anuales del 100,29‰, mínimos de 42,45‰ y máximos de 384,50‰. Al superar la salinidad media del agua de mar (35‰) la laguna de Peña Hueca es una salmuera.

Los valores de *dureza* destacan por el predominio de los iones de magnesio sobre los de calcio. Sin embargo, el porcentaje de cada uno de ellos varía de un año a otro; en 1989 el magnesio supone entre el 49,1 y el 100 % de la dureza total (en diciembre y mayo respectivamente), mientras que en 1990 la variación es mucho mayor, de 0 a 100 % (en octubre-noviembre y marzo respectivamente). El motivo, debe buscarse en la mayor actuación por parte del hombre en el agua de la laguna, "recargándola" de los pozos para mantener el nivel deseado y, alterando considerablemente la distribución de los iones.

Independientemente de la duración del período seco, la mayor dureza del agua se alcanza durante el mes de marzo, posiblemente a consecuencia de pequeños aportes de aguas subsuperficiales y/o subterráneas. No obstante, los valores de 1989 (275.660 mg/l) son muy superiores a los de 1990 (91.590 mg/l), debido al aumento de nivel de la laguna con agua de pozos situados en el borde durante el segundo año (menos dura). A su vez, los valores de los meses previos a secarse la laguna (mayo de 1989 y abril de 1990) y los de sus primeras aguas otoñales (septiembre de 1989 y octubre de 1990), muestran valores de dureza total similares (en torno a 74.500 en 1989 y sobre 33.000 en 1990). Por último, las cifras más bajas de dureza se recogen lógicamente en invierno, pues el agua de la laguna está recién precipitada y la evaporación es escasa.

Fig. 51.- Red hidrográfica que aporta aguas a la laguna de Peña Hueca.



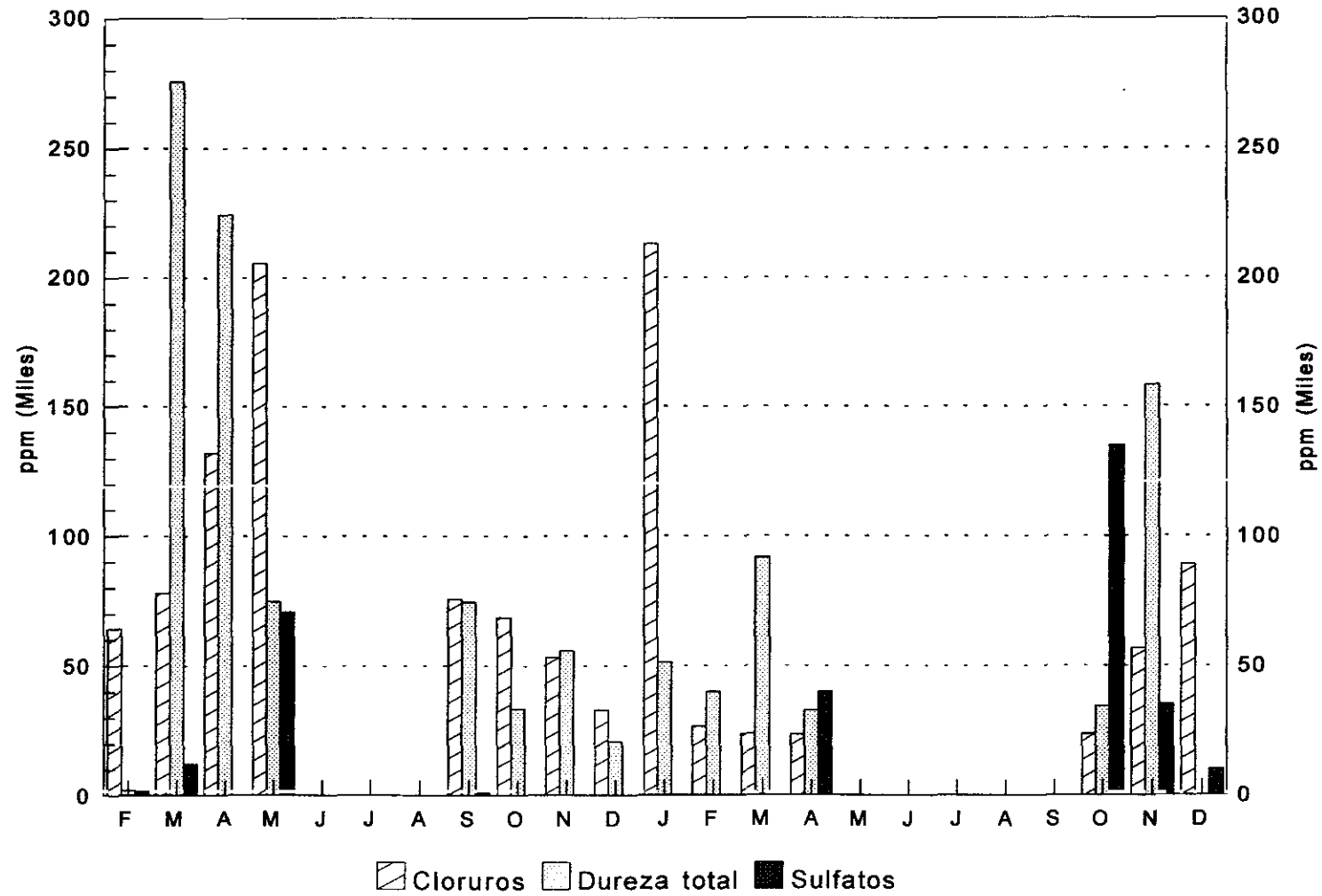
	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	322	390	235	500				185	200	170	78
C.E.mS/cm	18,34	>20,00	>20,00	>20,00				>20,00	>20,00	>20,00	>20,00
Cloruros	64.265	78.000	132.000	205.500				75.550	68.512	53.250	33.015
Cromo	0,27	0,13	-	-				-	-	-	-
Dureza total	19.600	275.660	224.460	74.820				74.433	33.540	55.728	20.769
D. de Ca ⁺⁺	11.740	5.790	22.704	0				24.123	10.965	0	10.578
D.de Mg ⁺⁺	7.881	256.877	201.756	74.820				47.794	22.575	55.728	10.191
Fluoruros	-	0,69	1,08	1,10				-	-	-	-
Fosfatos	0,00	0,40	1,47	4,29				3,27	0,15	2,80	2,60
Hierro	0,00	0,34	1,06	0,44	Laguna	sin	Agua	0,42	0,00	0,22	0,00
N.Amoniacal	-	0,48	2,30	1,90				15,50	6,20	1,20	3,80
Nitratos	0,4	-	-	409				7,4	1,8	6,8	1,1
Nitritos	0,17	0,66	-	0,13				0,72	0,17	0,01	0,07
O ₂	10,3	4,8	6,4	3,0				1,8	7,4	-	-
Temperat. °C	9,4	23,3	14,2	24,2				23,0	19,3	-	12,5
pH	8,20	6,82	8,90	6,84				7,32	7,50	7,20	8,10
Sílice	>2,50	0,57	0,88	>2,50				1,50	1,77	1,25	0,27
Sulfatos	1.700	12.250	>120.000	70.900				1.050	-	-	-
Turbiedad	5	20	400	25				23	12	0	0

Cuadro 40.- Análisis de las aguas de la laguna de Peña Hueca de 1989. Valores expresados en ppm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	151	126	330	402						221	200	303
C.E.mS/cm	>20,00	>20,00	>20,00	>20,00						>20,00	>20,00	>20,00
Cloruros	213.000	26.625	23.785	23.500						23.785	56.800	88.881
Dureza total	51.254	40.000	91.590	32.895						34.398	158.333	-
D. de Ca ⁺⁺	4.257	20.000	0	6.450						34.398	158.333	-
D.de Mg ⁺⁺	46.997	38.000	91.590	26.446						0	0	-
Fosfatos	1,56	1,47	1,51	1,56						0,90	1,64	1,85
Hierro	0,00	0,10	0,06	0,06						0,00	0,22	0,22
N.Amoniaca l	-	-	-	>2,50	Laguna		sin		Agua	-	-	-
Nitratos	1,1	4,4	0,8	1,6						0,8	3,6	-
Nitritos	0,09	0,05	0,02	0,00						0,02	-	-
O ₂	-	-	-	5,6						-	10,4	3,8
Temperat. ° C	6,0	-	-	14,5						-	11,8	16,3
pH	8,30	8,40	7,80	8,40						-	-	-
Sílice	0,53	0,33	1,55	0,18						0,20	0,55	0,57
Sulfatos	-	-	-	40.000						135.000	35.150	10.100
Turbiedad	0	16	0	0						88	70	76

Cuadro 41.- Análisis de las aguas de la laguna de Peña Hueca de 1990. Valores expresados en ppm.

Fig.52.- Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en la laguna de Peña Hueca. 1989 y 1990.



Los sulfatos presentan una gran variabilidad, desde valores de aguas poco o medianamente sulfatadas en invierno (de 1.000 a 10.100 mg/l) a concentraciones muy elevadas en primavera (70.900 mg/l en 1989 y 40.000 en 1990), y, sobre todo en octubre de 1990 con 135.000 mg/l.

Conforme a la cantidad de sales, las aguas de la laguna de Peña Hueca se clasifican de clorurado-sulfatado-magnésicas. No obstante, caben hacer algunas puntualizaciones en cuanto al orden de disolución de las distintas sales. Durante 1989, las máximas concentraciones se alcanza en primavera, primero la dureza total (marzo de 1989 y abril de 1990), seguida de cloruros y sulfatos (mayo), mientras que esta tendencia se modifica en 1990, por la brusca transformación de los aportes hídricos con los vertidos de pozos ya comentados y la extracción del agua en camiones. De este modo se modifican por completo los ciclos naturales de disolución de las sales, ya de por sí, complejos. Así, los valores máximos anuales de cloruros pueden darse en enero y máximos de sulfatos en octubre, quedando el medio manejado, al menos temporalmente, al antojo del hombre.

De los diferentes nutrientes, caben destacar *los fosfatos* con valores ligeramente altos durante cuatro meses de 1989. En las aguas naturales su contenido no sobrepasa 1 ppm en P_2O_5 y esos meses (mayo, septiembre, noviembre y diciembre) tienen valores entre 2,6 y 4,3 ppm. Así "las aguas superficiales o de los acuíferos pueden contaminarse por el lavado de las tierras de cultivo que contienen los abonos fosfatados o tratados con ciertos pesticidas"⁸⁰. Sin embargo, durante 1990 -año mucho más seco que el anterior-, todos los valores de fósforo en las aguas son mucho menores ($< 1,86$ ppm), debido a que a menor agua precipitada, menor lavado y avenamiento de las tierras circundantes.

En cuanto a los compuestos del nitrógeno, el *amonio* fue analizado sólo durante 1989, con valores que oscilaron entre 0,48 mg/l en marzo y 15,5 mg/l en septiembre. Sin embargo, es difícil precisar a qué responden las variaciones y resultados obtenidos, pues estos análisis mostraron numerosas interferencias con las sales.

Los nitratos revelan nuevamente un gran contraste entre los valores de mayo (409 mg/l) y los del resto del año, ($< 7,5$ mg/l). El motivo es el lavado de las tierras de cultivo que rodean la laguna, fertilizadas con compuestos nitrogenados. La contaminación por nitratos, como en la laguna de Villacañas, sólo presenta valores extremos en primavera y se han detectado en las aguas sólo durante un mes al año, pero, seguramente buena parte de los nitratos no reducidos pasen al suelo y, posteriormente a las aguas subterráneas.

La relación con el contenido de fosfatos en las aguas es de signo positivo, como en la laguna Chica de Villacañas, con un coeficiente de correlación de 0,68 y un valor de $R^2 = 47,38\%$.

Los nitritos son máximos en los meses de marzo y septiembre (0,66 y 0,72 ppm), pero, prácticamente no superan la cifra de 0,1 ppm el resto del año. Como en otras lagunas, también es notoria la diferencia de nitritos entre 1989 y 1990 en favor del

⁸⁰.- RODIER (1981): *Análisis de las ...* Opus cit., pág. 826.

primero.

Exceptuando el pico de nitratos del mes de mayo, destaca a lo largo del año el mes de septiembre por tener valores relativamente elevados de nitratos (7,5 ppm), nitritos (0,72 ppm) y amonio (15,5 ppm). Dichos valores responden al aporte de nitrógeno de las aguas meteóricas, al lavado de las tierras de cultivo circundantes y al inicio de los procesos reductores característicos de los humedales, aquí, sólo presentes en los meses que hay agua y la temperatura es favorable. A su vez, la alta salinidad de la laguna restringe la existencia de organismos vivos al orden de bacterias, que serán las responsables de transformar los compuestos amoniacaes en nitratos y éstos en nitritos.

En general, la alta salinidad de la laguna da lugar a unas características propias de ambientes extremadamente salinos, entre las que destacan:

- ausencia de plantas subacuáticas en el agua, y por tanto, las aguas se mantienen casi todo el año muy transparentes e incoloras (< 25 UTF) y, sólo el viento y el hombre modifican su quietud.
- Los valores de oxígeno disuelto son muy bajos (de 1,8 a 10,4 mg/l), pues el porcentaje de O_2 disminuye con el aumento de la salinidad, debido a que la mayor densidad del agua dificulta la entrada de los gases. La relación exacta del O_2 con la conductividad eléctrica, no pudo establecerse, pues la C.E. superó todos los meses muestreados el rango de medida utilizado (> 20 mS/cm). En general, el O_2 disuelto aumenta al disminuir la temperatura, pero el motivo es principalmente que en invierno (época de temperatura más baja) suele ser menor el contenido en sales.

En base a los valores comentados la laguna de Peña Hueca es una salmuera, de aguas estacionales, clorurado-sulfatado-magnésicas, contaminadas por nitratos en primavera y ausencia de contaminantes el resto del año. A su vez, la laguna soporta una extracción ilegal de las aguas superficiales y subterráneas.

D. Laguna del Masegar

El Masegar es una laguna artificial, situada en la confluencia de las llanuras de inundación de los ríos Riánsares y Cigüela. La laguna mantenía hasta 1992 un buen nivel de agua (máximos de 1-1,7 m de altura del agua), gracias a la construcción de muros -para represar el agua- (llamados localmente "palerías"), canales -para conducirla dentro de la laguna y aumentar su profundidad-, y compuertas, para recargar la laguna con agua del río Cigüela o descargarla cuando la necesidades así lo señalasen.

Con las transformaciones mencionadas, las aguas de la laguna del Masegar tienen una procedencia mixta: entradas "naturales" de agua y entradas "artificiales" o forzadas para obtener los niveles piezométricos deseados.

Las entradas naturales son debidas a:

- las precipitaciones, por lo general, de caracter tormentoso y de difícil avenamiento superficial en un área muy llana,
- las numerosas torcas dispersas por toda la laguna, especialmente por el norte, y

- al drenaje superficial y subsuperficial de la laguna del Taray y del río Cigüela.

Estas entradas naturales de agua a la laguna fueron "reforzadas" (al menos durante los dos años muestreados) con los citados aportes del río, pues las obras de profundización del cauce del río Cigüela de 1988 para "aumentar" las entradas de agua en Las Tablas de Daimiel, redujeron radicalmente los desbordamientos del río, y por ende, la inundación de algunos humedales entre los que se encontraba la laguna del Masegar.

El conjunto de aportes hídricos a la laguna daba como resultado niveles máximos de altura del agua a finales del invierno o principios de la primavera (necesarios para obtener un buen desarrollo de la vegetación, que diera cobijo y alimento a las numerosas aves acuáticas en su período reproductor y de cría), y mínimos a finales del verano (septiembre) o principios del otoño (octubre). Una vez criados los pollos de las diferentes especies acuáticas (a finales del verano), el agua presentaba una elevada concentración de solutos, especialmente sales, que convenía renovar para el próximo año con nuevas entradas menos salobres, comúnmente llamadas "aguas más limpias". Así, a finales del verano se abrían las compuertas para vaciar la laguna y se cerraban nuevamente en otoño para retener las entradas de aguas meteóricas y de avenamiento.

No es posible establecer una cuenca de drenaje individual para la laguna del Masegar, pues está ubicada en un área prácticamente llana, horadada por las más de doscientas torcas (la mayoría al norte de la laguna), que se han elaborado a partir de la disolución de los yesos miopliocenos, dando lugar a un complejo pseudokarst (ver mapa geomorfológico 3-4).

Recuérdese, que los análisis van a referirse a la situación hídrica de 1989 y 1990, cuando la laguna tenía agua prácticamente todo el año, al menos en los canales (12 meses en 1989 y 11 meses en 1990), situación que poco se parece al estado actual de la laguna, sólo con agua 2 ó 3 meses por año y no todos los años. Los motivos son complejos, pues a la prohibición de obtener aguas del río se suman las bajadas de los niveles freáticos a consecuencia de las extracciones para regadíos, y algunos años más secos.

De los análisis mensuales de las aguas, recogidos en los cuadros 42 y 43, destaca en primer lugar la buena calidad de las aguas, hecho que se hace realidad ante la ausencia de contaminantes y bajas concentraciones de muchos parámetros que, de lo contrario, pudieran resultar nocivos. Así, destacan los valores siguientes:

La *alcalinidad* con un rango entre 50 y 205 mg/l, presenta casi todo el año valores óptimos para las aguas estancadas (80-125 mg/l), señalando un elevado contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos que sirven de amortiguadores del pH. Éste, por tanto, no oscila mucho y se mueve entre 7,13 y 8,81, con tendencia a mostrar valores más bajos al final del verano.

El *hierro* oscila entre 0-0,65 ppm, contenido normal, pues "las aguas superficiales pueden contener hasta 0,5 ppm de hierro, que pueden tener origen en la lixiviación de los terrenos atravesados"⁸¹. Por encima de 0,5 ppm sólo se registra en septiembre de 1989 (0,65 ppm) debido a la concentración de los solutos en el mes de menor cantidad de agua.

⁸¹.- RODIER (1981): *Análisis de ...* Opus cit. pág.830

Los valores de *turbiedad* reflejan aguas muy transparentes e incoloras casi todo el año (< 30 UTF), cifra sólo superada en julio de 1990 (con 93 UTF), ya que con escasos centímetros de altura de agua es fácil que el viento y las plantas subacuáticas remuevan levemente la superficie del suelo.

El valor máximo de turbiedad (93 UTF) coincide nuevamente con las cifras más bajas de oxígeno disuelto (2,5 ppm), pues el gran crecimiento de organismos vivos en el agua durante la primavera y comienzos del verano demandan grandes cantidades de oxígeno, llegando en un corto espacio de tiempo a agotarlo. Sólo los nuevos aportes de aguas meteóricas y subsuperficiales, así como la acción del viento, incorporan a las aguas el oxígeno necesario para comenzar nuevos ciclos de vida.

El *oxígeno disuelto* presenta una buena relación indirecta con la conductividad eléctrica, de modo que cuando asciende la concentración de sales, desciende la de O_2 , hecho que se cumple en la práctica totalidad de los meses (ver fig. 53).

Respecto a los diferentes nutrientes, las aguas del Masegar se caracterizan por la ausencia de contaminación orgánica, con valores en general bajos, aunque hay períodos cortos en que algunos parámetros se hallan más concentrados. Así, los *fosfatos* están ausentes buena parte del año (0 ppm de 6 a 9 meses por año), o contienen pequeñas trazas, aunque siempre con valores inferiores a 1 ppm. Esta cantidad se considera normal para las aguas superficiales y tiene su origen en el lavado de los terrenos atravesados y en la descomposición de la materia orgánica. La práctica ausencia de fosfatos en las aguas del Masegar da lugar a que no exista apenas correlación con los distintos valores de nitrógeno.

Los *nitratos*, prácticamente ausentes durante el invierno ($< 1-1,5$ ppm), muestran un ligero aumento entre mayo y septiembre (5 ó 6 ppm), debido a la mayor actividad microbiana y a los procesos reductores, sin que dicho aumento, pueda considerarse incorporado por las actividades agrícolas. La ausencia de contaminación agrícola aquí viene explicada por el predominio de cultivos de secano en el entorno de la laguna, (antiguamente dominantes en toda La Mancha).

El *amonio* presenta una tendencia similar al parámetro anterior, ausente o con pequeñas trazas casi todo el año, y sólo destacable en los meses de junio y septiembre (1,35 y 1,65 ppm en junio de 1989 y 1990 respectivamente), coincidiendo con el período de actividad microbiana más alto.

Los *nitritos*, muestran una notable diferencia entre las cifras obtenidas en 1989 y en 1990, muy superiores durante el primer año, más húmedo y, por tanto, son más frecuentes los procesos reductores.

Debe destacarse septiembre de 1989, cuando tras un verano con agua y con altas temperaturas propias de esta estación, se dan altas cantidades de los distintos compuestos del nitrógeno (amonio, 1,65 ppm; nitratos, 5,02 ppm y nitritos 0,66 ppm). Así, en un ambiente falto de oxígeno (5,8 ppm) se produce el fenómeno de la denitrificación, a través del cual, los nitratos se reducen a nitritos y éstos, a su vez, son transformados en proteínas por las plantas, que serán transformadas en amoníaco en su descomposición y convertidas

en otro ciclo en nitratos por la actividad de las bacterias. Sin embargo, en primavera los máximos valores de los componentes del nitrógeno no coinciden en un mismo mes, ya que la existencia todavía de oxígeno en el agua permite cambios rápidos y sucesivos en el ciclo del nitrógeno.

La abundancia de yesos en los suelos de la laguna y en el substrato condicionan el carácter sulfatado de las aguas. La distribución anual de los *sulfatos* da como resultado máximas concentraciones en primavera (3.910 ppm y 10.500 ppm en abril de 1989 y 1990 respectivamente) y mínimas en invierno (en torno a 1.000 ppm). No obstante, pueden observarse notables diferencias en los valores en función de la mayor o menor cantidad de agua en la laguna y en el carácter seco o húmedo del año. Así, durante los años más secos (1990) los valores son muy superiores a los más húmedos (1989), hecho que viene confirmado con los datos de la obra de FORNÉS (1994), correspondientes al año hidrológico 1992-93 (muy seco), en el que las cantidades de sulfatos ascendieron hasta 20.000 ppm.

Además, la brusca reducción del agua durante el verano da lugar a un máximo secundario, con 9.250 ppm en agosto. Por tanto, las altas cifras de primavera deben responder a los aportes de aguas al menos subsuperficiales y del río (pues también lava a su paso gran cantidad de terrenos yesíferos), mientras que las del verano son fruto de la concentración de los solutos en el agua a consecuencia de la elevada evapotranspiración y ausencia de nuevos aportes hídricos.

Al contrario que en las lagunas anteriores, la *dureza del agua* es predominantemente cálcica, aunque existen excepciones, pues, durante el mes de marzo y algún mes del verano el magnesio supera al calcio. Los valores alcanzados en 1990 (20.000 ppm en noviembre) vuelven a ser muy superiores a los de 1989 (3.999 ppm en agosto) y deben explicarse por la diferencia de humedad entre ambos años, pues la gestión del agua por parte del hombre en estos dos años fue la misma.

Los *cloruros*, presentan nuevamente un gran contraste de valores entre los dos años muestreados, con un rango entre 167 ppm y 820 ppm en 1989, y entre 362 ppm y 2.698 ppm en 1990 (prácticamente el doble en el segundo), registrándose la concentración más elevada antes de secarse la laguna (septiembre). Por tanto, conforme al contenido de cloruros las aguas son dulces prácticamente todo el año (< 1.000 ppm de Cl^-) y, sólo en los meses previos a la desecación de la laguna (después del estío) las concentraciones superan dicha cifra y se definen como salobres (> 1.000 ppm y < 20.000 ppm de Cl^-).

La *salinidad* media bianual es de 0,79‰, con mínimos de 0,21‰ en 1989 y máximos de 2,96‰ en 1990, por lo que las aguas quedan clasificadas de subsalinas (de 0,5 a 3‰ de salinidad).

Por su contenido total en sales, las aguas del Masegar quedan clasificadas como aguas sin contaminar, muy duras, sulfatada-cálcicas, salobres en verano o periodos de falta de agua con escasos niveles ($< 5-10$ cm) y dulces el resto del año. No obstante, la diferencia de humedad en los dos años muestreados (1989, húmedo y 1990, seco), da lugar a una destacada diferencia en las concentraciones de las distintas sales.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	125	153	106	125	110	90	-	50	120	205	130	148
C.E.mS/cm.	-	2,67	2,43	-	3,85	2,31	3,04	3,88	3,46	2,80	3,66	2,60
Cloruros	309	820	630	480	395	357	174	227	263	167	482	315
Dureza total	3.520	3.520	3.109	2.761	2.410	2.025	2.154	3.999	2.864	2.090	3.018	2.300
D.de Ca ⁺⁺	2.120	2.120	1.181	1.447	1.618	1.277	1.490	1.788	1.816	58	2.451	1.641
D.de Mg ⁺⁺	1.400	1.400	1.942	1.314	792	748	664	2.211	1.047	1.163	566	659
Fluoruros	0,93	-	0,59	1,05	1,56	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00
Hierro	0,14	0,14	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,10	0,65	0,00	0,00	0,00
Nitratos	0,13	0,35	-	-	6,34	0,44	1,06	2,22	5,02	1,50	1,37	0,88
Nitritos	0,10	0,17	0,66	-	0,33	0,33	0,00	0,00	0,66	0,10	0,00	0,03
N.amoniacal	-	-	0,30	0,63	0,37	1,35	0,45	1,03	1,65	0,00	0,10	0,00
pH	7,12	7,44	7,13	8,81	7,84	8,26	8,32	7,70	7,63	8,20	7,70	8,50
O ₂	6,1	6,6	6,7	4,5	7,4	7,6	4,6	3,2	5,8	9,7	-	-
Temperat. °C	8,1	8,3	9,2	13,0	25,6	26,5	26,8	28,5	24,2	11,0	-	-
Sílice	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,5
Sulfatos	1.000	1.000	3.910	3.910	2.565	2.780	2.765	950	975	-	-	-
Turbiedad	23	23	20	20	28	5	5	13	10	19	23	16

Cuadro 42.- Análisis de las aguas de la laguna del Masegar de 1989. Valores expresados en ppm.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Alcalinidad	170	198	152	157	102	157	109	200	120	Laguna	74	171
C.E.mS/cm.	2,20	2,36	-	3,80	4,80	3,60	3,80	4,90	5,60		1,30	1,92
Cloruros	362	476	760	2.627	781	781	408	781	2.698		1.065	-
Dureza total	2.322	2.774	2.864	2.993	3.440	4.498	11.730	7.472	16.300		20.000	1.896
D.de Ca ⁺⁺	1.429	1.567	1.335	1.664	3.285	1.668	5.126	4.472	7.400		12.933	1.458
D.de Mg ⁺⁺	893	1.206	1.529	1.329	154	2.829	6.605	2.800	8.900	Sin	7.066	439
Fosfatos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,05		0,05	0,05
Hierro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06		0,10	0,00
Nitratos	1,06	0,35	0,97	0,00	2,18	6,71	-	1,06	1,28		1,67	-
Nitritos	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	-	0,20	0,01		-	-
N.Amoniacal	-	-	0,00	0,69	0,95	1,07	-	-	-	Agua	-	-
pH	8,10	8,10	8,20	8,10	8,10	8,00	7,34	-	-		-	-
O ₂	-	7,0	-	9,6	9,0	11,5	2,5	14,0	13,7		13,5	11,2
Temperat. °C	6,0	7,9	-	13,0	22,4	27,2	24,3	25,0	24,8		5,5	11,0
Sílice	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50	>2,50		>2,50	>2,50
Sulfatos	-	-	-	10.500	8.000	5.880	2.230	9.250	5.750		1.696	1.075
Turbiedad	16	20	24	0	25	0	93	25	23		10	20

Cuadro 43.- Análisis de las aguas de la laguna del Masegar de 1990. Valores expresados en ppm.

Fig.53.-Relación entre el oxígeno disuelto (ppm) y la conductividad eléctrica (mS/cm) en el Masegar.

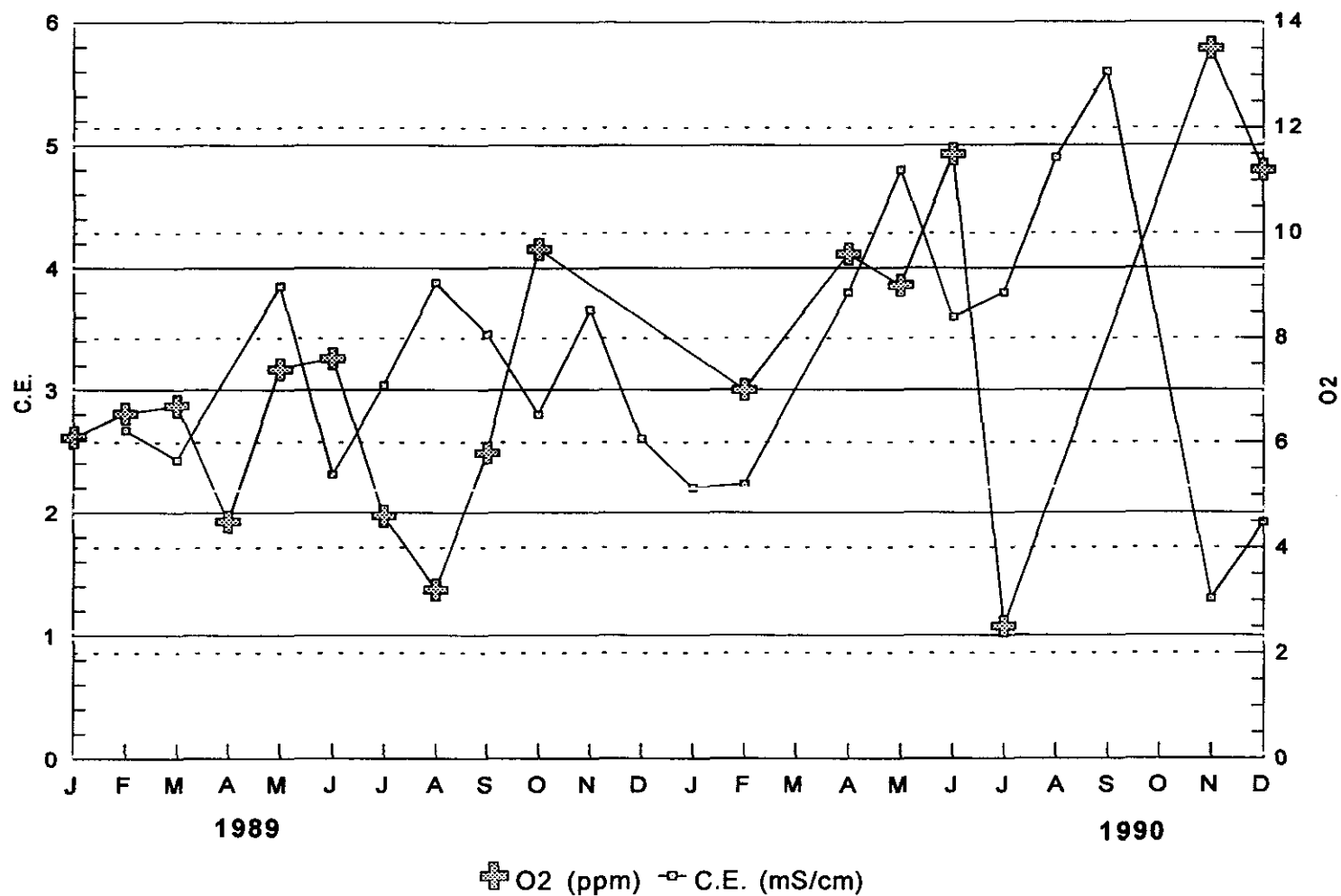
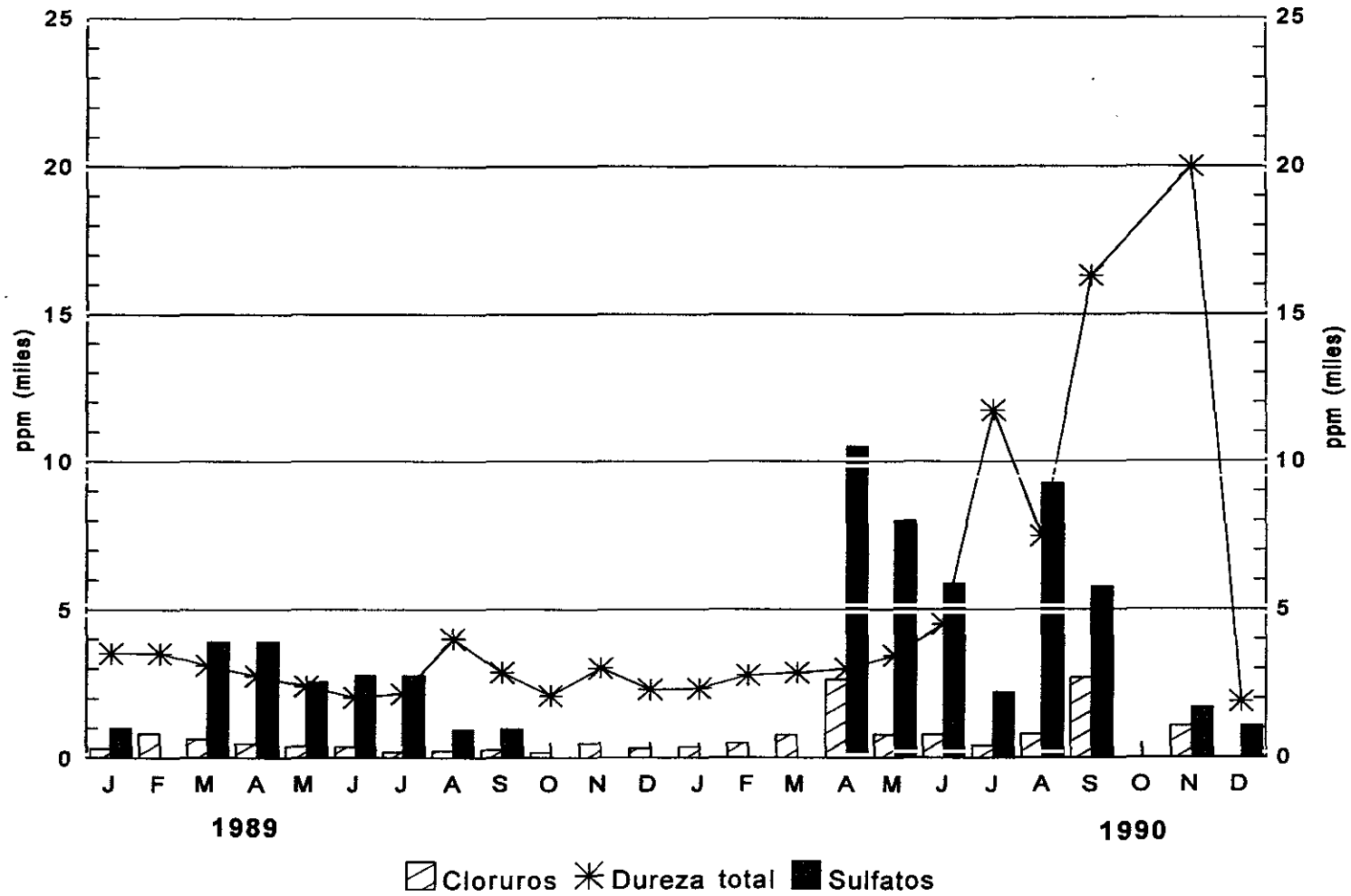


Fig.54.-Contenido de cloruros, dureza total y sulfatos en el Masegar.1989-1990.



IV.5. CONCLUSIONES

El extremo suroriental de la provincia de Toledo es un área, en general mal drenada, donde son frecuentes las lagunas endorreicas, espacios fácilmente encharcables y amplias llanuras de inundación.

Los ríos Riánsares y Cigüela, que hace tan sólo unos años aportaban parte de sus aguas a diversas tablas (entre las que se encontraba la laguna del Masegar), en la actualidad sólo las ceden en casos extraordinarios (fuertes y abundantes precipitaciones, y épocas de transvases).

El río Cigüela presenta desde 1980 un marcado e ininterrumpido descenso del caudal medio mensual y anual, sin precedentes en el período analizado (1955-56/1985-86), y sin relación directa con las precipitaciones mensuales y anuales. Además, el Cigüela se ha convertido en un río "perdedor", al menos entre las estaciones de aforo de Quintanar y Villafranca, hecho que debe responder principalmente al descenso de los niveles freáticos por la sobreexplotación de las aguas subterráneas.

Las lagunas de Villacañas (Larga y Chica), de Peña Hueca y del Masegar, tienen niveles de agua variables, entre 15-20 cm y 100-150 cm, que están muy condicionados por los factores meteorológicos y por la acción antrópica.

En las aguas de las lagunas se han encontrado diversos contaminantes orgánicos fruto de diferentes usos, de los que cabe destacar:

- Altas concentraciones de amoníaco en la laguna Larga de Villacañas (> 5 ppm casi todo el año) advierten acerca de la polución urbana. Estas cantidades tienen una especial repercusión en el crecimiento desmedido de algas que sobrecargan el sistema natural y dan lugar a olores fétidos, coloración excesiva del agua y falta de oxígeno disuelto.

En la laguna de Peña Hueca también se han encontrado valores muy elevados de amoníaco, pero sólo un mes de todos los muestreados (septiembre de 1990). Esta cifra probablemente tenga su origen en el lavado de los terrenos circundantes a la laguna utilizados por el ganado para pastos. Por el contrario, las pequeñas trazas encontradas el resto de año en Peña Hueca, así como en las lagunas Chica de Villacañas y el Masegar son el resultado de la incorporación por aguas meteóricas (hasta 2 ppm) y/o de los procesos naturales de oxidación-reducción.

- Elevadas concentraciones de nitratos (de 110 a 409 ppm) en las dos lagunas de Villacañas y en Peña Hueca durante los meses de mayo y junio. El motivo es indudablemente la contaminación agrícola, debido al uso excesivo de abonos nitrogenados y a las prácticas de regadío. Dichas cantidades no pueden explicarse sólo por el estado final de la oxidación biológica, pues este proceso en las aguas superficiales sólo llega a mostrar pequeñas trazas de NO_3^- . Altas concentraciones de nitratos sí podrían deberse a las aguas subterráneas, pero entonces deberían encontrarse también en los meses de marzo o abril y no coincidir solamente con el período agrícola de mayor actividad.

- Los valores por encima de 0,1 ppm de nitritos, que indican un medio rico en materia orgánica y procesos reductores, prácticamente se ciñen en las aguas de las cuatro lagunas a 1989 -año húmedo-, mientras que casi no aparecen durante 1990 -año seco- (sólo en septiembre en la laguna del Masegar y en enero en la Larga de Villacañas). Así, las precipitaciones más abundantes de 1989, dan lugar, por un lado, a más aportes de aguas superficiales, subsuperficiales y/o subterráneas a las lagunas y, por otro, a la presencia de nutrientes que permiten la actuación de procesos oxido-reductores.

- Junto a los contaminantes nitrogenados, también se han descrito altas concentraciones de *fosfatos*, especialmente en la laguna Larga de Villacañas (valores superiores a 20 ppm), que detallan el grado de contaminación, originada por los vertidos urbanos y aguas de lavado de tierras de cultivo. La incorporación de fosfatos y nitratos por dos fuentes diferentes (urbanas y agrícolas), dan como resultado la falta de correlación entre ambos parámetros. Sin embargo, las lagunas Chica de Villacañas y Peña Hueca, que sólo muestran un tipo de contaminante, el agrícola, (muy localizado en el tiempo), presentan altas correlaciones entre fosfatos y nitratos, ambos compuestos incorporados por el lavado de las tierras de cultivo próximas a las lagunas ($C.C.=0,96$; $R^2=91,48\%$ en la laguna Chica y $C.C.=0,57$; $R^2=33,23\%$ en la laguna de Peña Hueca).

Respecto a las sales de las aguas de las lagunas (*cloruros, dureza de calcio, dureza de magnesio y sulfatos*), cabe destacar:

a) una notable diferencia de cantidad de sales en función de la mayor o menor humedad del año (1989, año húmedo y 1990, año seco), cantidad que tiene una gran incidencia en el carácter dulce, salobre o salmuera de las aguas. Así, la laguna del Masegar que en 1989 tiene aguas dulces (sólo ligeramente salobres en verano), pasa en 1990 a tener aguas salobres todo el año. La falta de agua prolongada (por sequía o por transformaciones antrópicas del espacio) provoca un indudable cambio en la calidad de las aguas y, a su vez, éste da lugar a variaciones edáficas, de la vegetación y de la fauna. Estas transformaciones, que sí se han producido en la laguna del Masegar desde 1992, por falta de agua en la laguna, podrían ser objeto de futuras investigaciones.

b) Las concentraciones mínimas anuales se producen en invierno por la mayor dilución de los solutos en el período de mayor cantidad de agua dulce procedente de las aguas meteóricas. Esta tendencia se modifica, cuando la actuación del hombre provoca cambios en los ciclos del agua de las lagunas para otros fines, como es el caso de la laguna de Peña Hueca.

c) las máximas concentraciones de sales, (cloruros, dureza de calcio, dureza de magnesio y sulfatos), varían a lo largo del año según la procedencia del agua, el orden de disolución de las sales, el carácter estacional de la laguna, los parámetros meteorológicos (precipitaciones, viento y evaporación principalmente) y, por descontado, según la actuación del hombre. Pese a todas las variaciones y posibilidades existentes, los valores máximos más repetidos tienen un orden temporal, que a continuación se trata de sintetizar:

c.1. en primavera, destacando abril (aguas del Masegar, Larga y Chica de Villacañas) o marzo (aguas de Peña Hueca), los valores máximos responden a la incorporación de aguas subsuperficiales y/o subterráneas. En esta época los sulfatos dominan sobre la dureza (de calcio y magnesio) y los cloruros, aunque en la laguna de Peña Hueca es importante también el contenido de sales de magnesio.

c.2. En verano o al principio de la estación seca (mayo en la laguna de Peña Hueca, junio en la laguna Chica, julio o agosto en la laguna Larga y septiembre en el Masegar), los altos valores se deben a la mayor concentración de los solutos en el agua por evaporación y falta de precipitaciones durante el estío. A esto se une una ausencia de aguas subsuperficiales durante el verano, período característico de falta de agua en toda la comarca estudiada. En estos meses, las cifras de cloruros y dureza superan a los sulfatos.

c.3. En otoño (preferentemente durante el mes de octubre) las elevadas concentraciones responden al lavado de las sales depositadas en la superficie de los vasos lagunares que han ascendido por capilaridad, gracias a la elevada evapotranspiración estival. En otoño existe una mayor variabilidad en cuanto al predominio de unas sales sobre otras. Mientras que en las lagunas de Villacañas (Larga y Chica) y en Peña Hueca destacan los sulfatos (1990), en el Masegar dominan la dureza y los cloruros.

c.4. En invierno las altas concentraciones sólo pueden responder al manejo del agua por parte del hombre, como ya se comentó de la laguna de Peña Hueca, donde se alcanzaron valores de 213.000 ppm de Cl^- en el mes de enero.

d) Hay un gran contraste en el contenido de cloruros en las lagunas en función de su origen. Las lagunas endorreicas (Chica y Larga de Villacañas y Peña Hueca) son claramente cloruradas, con cifras que ascienden los 100 g/l. Mientras que en la laguna de origen fluvial (El Masegar), el valor más alto no alcanza los 3 g/l.

Las tres primeras, están cargadas en cloruros porque se han formado en un espacio muy plano, de difícil evacuación, con sedimentos triásicos próximos a la superficie, formando parte de la cuenca de drenaje, con escaso recubrimiento terciario y en un ambiente de elevada evaporación. Dichos sedimentos actúan, por un lado, como capa impermeable y, por otro, como portadores de cloruros, sales que ascenderán por capilaridad gracias a la elevada evapotranspiración y pequeño recorrido. La planitud del relieve y las bajas precipitaciones darán lugar a pocas pérdidas de agua y a un ciclo continuo de concentración de sales y disolución de las mismas en agua hasta formar los complejos sedimentos evaporíticos del nivel de base de los tres humedales comentados.

Debe recordarse igualmente que el ión Cl^- es conservador, luego se ha podido ir agregando progresivamente a estos vasos endorreicos y almacenando en ellos, sin posibilidad de evacuación ulterior.

Si las tres lagunas se han originado bajo unas condiciones físicas y climáticas similares, cabe preguntarse a qué responden las diferencias de salinidad (no sólo de cloruros) entre unos humedales y otros. Estas diferencias pueden explicarse por la

variabilidad de aportes hídricos y por la mejor o peor configuración de la cuenca de drenaje. Así, el orden de menor a mayor salinidad de las lagunas -Chica, Larga y Peña Hueca- viene explicado por los rasgos siguientes:

- Laguna Chica de Villacañas: tiene una cuenca de drenaje muy mal definida y no recibe aguas subterráneas, sólo subsuperficiales.
- Laguna Larga de Villacañas: tiene una cuenca mal definida, pero recibe aguas de avenamiento (algún reguero al W y S de la laguna) y recibe aguas subsuperficiales y/o subterráneas por el E y S.
- Laguna de Peña Hueca: está ubicada en el centro de una cuenca de drenaje bien delimitada y recibe aguas subsuperficiales y, al menos esporádicamente, aguas subterráneas, ricas en sales, que serán concentradas en la superficie por evaporación.

Por el contrario, la laguna del Masegar tiene inevitablemente menor contenido en sales (aguas dulces o subsalinas) por su origen fluvial (localizada en la confluencia de las llanuras de inundación de los ríos Riánsares y Cigüela), por los aportes hídricos fundamentalmente del río Cigüela, por el mayor lavado de las sales en un agua mucho más móvil que en las lagunas anteriores (manejo del agua) y, además, porque, los sedimentos terciarios tienen un recubrimiento muy superior (en torno a los 200 m), y no tiene conexión con las aguas subterráneas.

De los restantes parámetros analizados cabe destacar que:

Existe una relación indirecta entre la *conductividad eléctrica* y el *oxígeno disuelto*, de modo que, ascensos en la C.E. dan lugar a valores más bajos de O_2 y viceversa. Esta relación sólo pudo medirse en las aguas de las lagunas del Masegar y Chica de Villacañas debido a que en las dos restantes el rango máximo de medida de la conductividad eléctrica resultó insuficiente. El coeficiente de correlación entre ambos parámetros resulta en las lagunas mencionadas de -0,39.

La *sílice* mostró en todas las lagunas durante los dos años muestreados valores superiores a 2,5 mg/l. Aunque este valor máximo es un poco bajo, la presencia de sílice en las aguas naturales (no procedentes de rocas ígneas, ni volcánicas), debe su presencia a la acción de organismos como las diatomeas, que la utilizan para la estructura de su esqueleto y vuelve al agua al morir dichos organismos.

El pH de las aguas de las cuatro lagunas oscila de básico, prácticamente todo el año, a consecuencia del carácter sulfatado de las aguas y por la incorporación de aguas de procedencia calcárea, a neutro (valores mínimos en las lagunas de 6,82 en Peña Hueca; 7,12 en la laguna Larga; 7,13 en el Masegar). Sin embargo, mientras que en las lagunas de Villacañas los valores próximos a la neutralidad son ocasionales (1 ó 2 meses cada dos años), en el Masegar son frecuentes en invierno, por el carácter dulce de sus aguas, y en Peña Hueca son habituales en otoño (por la incorporación de aguas meteóricas) y en primavera (posiblemente por la llegada de aguas subterráneas procedentes "del área de

recarga más alejada del borde impermeable paleozoico, (al E de la laguna)"⁸².

Por último, y en base a todos los análisis comentados las cuatro lagunas quedan definidas de la siguiente manera:

- *Laguna Chica de Villacañas*: estacional de aguas salobres, sulfatadas-cloruradas-magnésicas, con contaminación orgánica en primavera.
- *Laguna Larga de Villacañas*: permanente, clorurada-sulfatada-magnésica, muy contaminada (por compuestos del nitrógeno, fósforo y detergentes principalmente) y eutrofizada.
- *Laguna de Peña Hueca*: estacional, salmuera con aguas cloruradas-sulfatadas-magnésicas, con exceso de nitratos en primavera y destacada actuación antrópica.
- *Laguna del Masegar*: estacional, dulce o subsalina, de aguas sulfatadas-cálcicas, sin contaminar.

Una vez más, estas definiciones ponen de relieve que la proximidad geográfica (unos 12 km separan a las lagunas de Villacañas de las lagunas de Peña Hueca y el Masegar), no es sinónimo de homogeneidad (ni siquiera en La Mancha), pues en función de los orígenes de las lagunas, de los aportes hídricos y de las transformaciones antrópicas resultan higrocoras totalmente diversas.

⁸².-.FORNÉS AZCOITI, J.M^a (1994): *Hidrología de algunas lagunas ... Opus cit.*, Tomo I, pág. 179.

CAPÍTULO V

USOS DEL SUELOS Y VEGETACIÓN DEL EXTREMO SE DE TOLEDO

V.1. USOS DEL SUELO

La mayor parte de la superficie del término municipal de Villacañas, donde se ubican las lagunas analizadas en los capítulos precedentes, tienen como uso del suelo dominante la agricultura. Los campos de cultivos se extienden con frecuencia hasta los mismos bordes lagunares, aún con el riesgo de perder parte de sus cosechas por los desbordamientos periódicos de las lagunas (recuérdese que son de aguas salobres o salinas).

En los cuadros 44 y 45 puede observarse la evolución de las superficies ocupadas por cultivos agrícolas desde 1970 hasta 1989 en el término de Villacañas, así como el tipo de productos cultivados. Además, se han comparado los diferentes usos agrícolas de Villacañas con otros sectores de la región manchega, también predominantemente agrícolas (cuadro 46). De ellos se obtienen las siguientes consideraciones:

- a) El predominio de los cultivos leñosos y cereales de grano (35,3% y 22,3 % en 1990 respectivamente) respecto al resto de productos agrícolas: hortalizas, forrajeras, leguminosas, etc.
- b) De los cultivos leñosos es el viñedo el que ocupa mayor superficie, pero si durante la década de los setenta experimentó una clara expansión durante los años ochenta muestra un ligero descenso, seguramente a consecuencia de las primas ofrecidas por la Comunidad Europea para arrancar las vides. En el municipio de Villacañas las plantaciones de viñedos tienen una edad media de 20 años y la producción se dedica en su totalidad a vinificación, al igual que en el resto de La Mancha.
- c) El cultivo del olivar supone sólo un pequeño porcentaje (1,7% en 1989) debido a que no es un cultivo rentable por encontrarse en el límite climático. El principal problema es el largo período de heladas, que como se vio en el apartado I.3 oscila de 3 meses de heladas seguras en Las Pedroñeras a 5 a 6 meses de heladas probables en todas las estaciones termométricas manchegas. La edad media de las plantaciones es superior a los 50 años y tienen una producción en torno a 10 kg árbol/año destinadas básicamente a almazara.

d) Respecto a los cereales de grano se ha producido desde mediados de los años 70 un descenso progresivo del trigo en favor de la cebada (el primero pasa entre 1970 y 1989 de 11,3% a 2,0%, frente al aumento de la segunda de 13,4% a 20,3% en los mismos años). Este cambio ha sido paralelo al descenso del consumo de los productos derivados del trigo, principalmente pan y harinas.

e) La labor intensiva en toda La Mancha se realiza mediante el cultivo de año y vez, en el que diversos cereales (trigo, cebada, avena, etc.) alternan con leguminosas (lentejas y yeros), hortalizas (melón), cultivos forrajeros (veza) o cultivos industriales (remolacha azucarera). Como es lógico los rendimientos de la producción varían mucho según se cultive en secano o en regadío, pero mientras que las diferencias entre ambos son (en favor del regadío evidentemente) en torno a 1-2 veces su valor en los cereales, la producción asciende a 3-3,5 veces en el melón y la alfalfa.

f) La superficie dedicada a prados y pastizales es escasa (3,2%) y llama la atención que no haya presentado variaciones desde 1970. Seguramente esta superficie en el término de Villacañas pertenezca al área cartografiada en el mapa geomorfológico 3-2 como antiguos lagos, pues se refiere a terrenos encharcables con facilidad, salinos y con abundantes yesos. Por ello dichos suelos no permiten el aprovechamiento agrícola.

La escasez de pastizales da lugar a que la mayor parte del ganado, básicamente ovino y caprino, tengan que alimentarse en las tierras de barbechos, baldíos y eriales (23 y 6 % respectivamente en 1989). De ésta forma, la ganadería va buscando en las distintas estaciones anuales el alimento disponible que sería:

- Durante el otoño-invierno: en pastizales, eriales y baldíos.
- En primavera: en los barbechos.
- En verano: en la rastrojera.

g) Los cultivos de regadío son desde principios de los años 70: la remolacha azucarera y la patata tardía (época de recolección del 30 de septiembre al 15 de enero). Tan sólo se han ampliado desde 1985 los regadíos en otros cultivos como la cebada, el ajo y la cebolla.

Aunque los regadíos en este sector manchego todavía no suponen porcentajes destacados (1,2% en 1989), sí puede decirse que la superficie regada experimentó en el término de Villacañas un crecimiento durante la década 1975-1985 y entre este año y 1989 dicha superficie parece haberse estabilizado (cuadro 45). En el conjunto de La Mancha, Villacañas es uno de los términos municipales con menos superficie regada (766 ha frente a 2.905 en el término municipal de Alcázar de San Juan) debido a la mala calidad del agua subterránea.

Cuadro 44.- Evolución de los cultivos agrícolas en el término municipal de Villacañas, Toledo. (%).

Cultivos herbáceos											
		1971		1977		1980		1985		1989	
		S	R	S	R	S	R	S	R	S	R
Cereales de grano	Trigo	15,8	-	11,3	-	9,0	-	3,6	-	2,0	-
	Cebada	11,3	-	13,4	-	12,9	-	18,5	0,24	20,3	0,04
	Avena	0,22	-	0,22	-	0,10	-	0,07	-	0,02	-
	Centeno	0,15	-	0,03	-	0,02	-	0,04	-	-	-
Leguminosas de grano	Lenteja	3,7	-	1,9	-	1,0	-	1,7	-	0,6	-
	Berza	-	-	-	-	-	-	0,15	-	0,12	-
	Yero	0,09	-	0,22	-	0,8	-	-	-	-	-
Tubérculos	Patata	0,01	0,07	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01
Cultivos industriales	Remolacha	-	0,37	-	0,04	-	0,33	-	0,03	-	0,74
	Girasol	-	-	0,02	-	0,01	-	0,06	-	0,01	-
	Azafrán	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cultivos forrajeros	Alfalfa	0,07	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,01
	Veza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hortalizas	Sandía	-	-	0,29	-	0,30	-	0,04	-	0,01	-
	Melón	0,67	-	0,85	-	1,19	-	0,45	-	0,39	-
	Ajo	-	-	-	-	-	-	-	0,56	-	-
	Cebolla- cebolleta	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	-
Total cultivos herbáceos		31,9	0,1	28,3	0,13	23,8	0,35	24,6	1,22	23,43	1,18 ⁸³
Cultivos leñosos											
Viñedo		27,1		33,0		36,4		35,4		35,3	
Olivar		2,3		1,8		2,2		1,7		1,7	
Otros leñosos		-		0,3		1,1		0,6		0,4	
Total cultivos leñosos		29,4		35,1		39,7		37,6		37,3	

⁸³.- Las cifras aquí expuestas son las ofrecidas por el Ministerio de Agricultura, sin embargo llama la atención que los valores totales no siempre coinciden con la suma de los valores parciales (tanto por defecto como por exceso).

Cuadro 45.- Evolución de las superficies ocupadas por cultivos agrícolas en el término municipal de Villacañas, Toledo. (%).

	Cultivos herbáceos		Barbecho y baldíos	Cultivos leñosos	Total tierras cultivo- A		Prados naturales	Pastizales	Total prados y pastizales-B	Terreno forestal-C
	Secano	Regadío			Secano	Regadío				
1970	28,2	0,2	26,9	s.d.	s.d.	s.d.	0,6	2,7	3,2	0,4
1975	31,5	0,1	19,2	34,5	84,4	0,1	0,6	2,7	3,2	0,4
1980	23,8	0,4	21,9	39,0	85,2	0,5	0,6	2,7	3,2	0,4
1985	24,6	1,2	21,8	37,0	83,4	1,2	0,6	2,7	3,2	0,4
1989	23,4	1,2	23,0	37,1	83,5	1,2	0,6	2,7	3,2	0,4

	Erial a pastos	Terreno improductivo	Superficie no agrícola	Ríos y lagos	Total D	Total superficies (A + B + C + D)	
						Secano	Regadío
1970	s.d.	1,1	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
1975	6,3	1,1	2,8	1,4	11,3	99,82	0,18
1980	6,3	1,1	2,8	1,4	11,7	99,50	0,50
1985	6,0	1,1	3,1	1,4	11,7	98,76	1,22
1989	6,0	1,1	3,1	1,4	11,7	98,81	1,18

s.d. = sin datos.

Cuadro 46.- Porcentajes de cultivos y aprovechamientos en ocho hojas 1:50.000 de La Mancha.

	Villacañas (687)	Quintanar de la Orden (688)	Alcázar de San Juan (713)	Campo de Criptana (714)	El Provenci o (715)	Villarta de San Juan (738)	Alameda de Cervera (739)	Villarrobledo (740)
Viñedo	40,5	54,6	45,4	64,6	48,3	46,7	67,6	61,2
Labor intensiva	35,0	29,5	31,2	25,8	34,2	18,0	13,6	28,5
Pastizal Matorral	16,5	4,8	9,2	1,9	4,1	13,5	3,1	1,6
Olivar	1,5	-	3,0	2,0	-	4,7	0,2	0,1
Frondosas y coníferas	-	6,8	-	-	4,8	-	-	2,2
Improductivo	5,0	2,4	4,7	3,3	3,5	4,5	5,0	2,0
Regadío	1,4	1,9	5,5	1,5	5,0	12,0	10,5	4,3
Labor extensiva	-	-	-	0,8	-	-	-	-

V.2. LA VEGETACIÓN NATURAL

V.2.1. Introducción

Bien puede decirse que, a causa de la gran extensión de los cultivos en la llanura de San Juan, la vegetación natural ha quedado confinada a escasos y pequeños enclaves, que por diversos motivos no han podido ser aprovechados para la agricultura (pendientes acentuadas, salinidad excesiva, escasez o pobreza del suelo, fincas privadas dedicadas a usos cinegéticos, etc). Así, la vegetación potencial del extremo suroriental manchego, caracterizada por la serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* (RIVAS MARTÍNEZ, 1982), está prácticamente ausente y sólo queda como recuerdo alguna encina aislada y solitaria sin estrato arbustivo ni herbáceo alguno.

La sustitución de la vegetación natural por cultivos da lugar a que no aparezcan tampoco las distintas etapas de sucesión del antiguo bosque (o dehesa) mesomediterráneo basófilo, que corresponderían en regresión al matorral denso de *Quercus coccifera*, *Rhamnus lycioides*, *Jasminum fruticans* y *Retama sphaerocarpa*, al matorral degradado de *Genista scorpius*, *Teucrium capitatum*, *Lavandula latifolia* y *Helianthemum rubellum*, y por último, al pastizal de *Stipa tenacissima*, *Brachypodium ramosum*, *Brachypodium distachyon* (RIVAS MARTÍNEZ, 1982). En una etapa de progresión la colonización sería inversa, pero en caso de abandono de las tierras intensamente cultivadas, las propiedades físicas y químicas de los suelos han variado notablemente respecto a las precedentes y, por lo tanto, son otras las especies colonizadoras, en general, nitrófilas, invasoras y de rápida adaptabilidad al nuevo suelo, y poco tienen que ver con la vegetación potencial.

La vegetación natural en el extremo suroriental toledano queda prácticamente confinada a los bordes de las lagunas salobres (no cultivables por el exceso de salinidad), márgenes de los ríos e higrocoras de propiedad particular. Esta vegetación se corresponde con las geoserias edafófilas mediterráneas de los saladares-salinas y la riparia basófila mediterránea (RIVAS MARTÍNEZ, 1982).

Aquí, lejos de pretender hacer un estudio exhaustivo de la vegetación de las higrocoras, ya realizado por otros autores (CIRUJANO, 1980, 1981, 1982, y 1986, CASTROVIEJO y CIRUJANO, 1980; CIRUJANO y VENAYAS, 1986, etc.), se comentará cuál es el espacio ocupado por la vegetación natural en las cuatro higrocoras estudiada y cuáles son las especies más significativas (cuadro 51) conforme al hábitat que ocupan.

Las diferentes especies vegetales del entorno de las higrocoras toledanas están adaptadas a las condiciones climáticas, edáficas, hídricas, topográficas y antrópicas analizadas en los capítulos precedentes. Pero dichas condiciones presentan una gran variabilidad espacial desde el mismo borde de la laguna hasta las proximidades de los cultivos, carreteras o pueblos.

Si de manera general todas las especies se ven afectadas por la escasez e irregularidad de las precipitaciones y la acusada sequía estival, la humedad edáfica será muy diferente según la posición más o menos cercana al borde lagunar, frecuencia e

intensidad de las inundaciones, oscilaciones del nivel freático (aguas subsuperficiales), tipos de suelos y variaciones topográficas. A su vez, las distintas especies también mantendrán una selección espacial en función de la mayor o menor resistencia o tolerancia a la salinidad, al encharcamiento y a los contaminantes orgánicos. En definitiva, la distribución y variabilidad de especies vegetales en los entornos de las higrocoras estudiadas serán buenos indicadores del tipo de condiciones geoedáficas existentes.

Para exponer la vegetación de las lagunas se han realizado unos croquis donde aparecen representadas las superficies actuales de vegetación natural, así como los puntos donde se han realizado los cortes en las diferentes lagunas, señalando las especies características y su distribución desde el mismo borde de las lagunas (expuestos a inundaciones periódicas de la lámina de agua), hasta unos metros alejados de dichos bordes, sin contacto con las aguas de inundación ni con las oscilaciones del nivel freático.

Para conocer mejor la tolerancia o adaptabilidad de algunas especies al encharcamiento, exceso o déficit de agua se tomaron medidas mensuales con piezómetros de PVC situados junto a las especies analizadas. Estos datos se muestran junto a los cortes de cada laguna y serán comentados posteriormente.

En general, las diferentes especies vegetales tiene que adoptar una serie de adaptaciones halófilas y xerófilas, entre las que destacan:

- Un período de desarrollo muy corto, para evitar las bajas temperaturas invernales (recuérdese que las temperaturas medias mínimas rondan los 0°C durante los tres meses de invierno como se vio en el apartado I.3 y cuadro 7) y la acusada sequía estival (al menos de 3 meses). Las especies suelen tener un período de desarrollo de unos 3 ó 4 meses entre la primavera y el otoño.
- Hojas muy pequeñas, escamiformes o cilíndrica y tallos carnosos, para evitar pérdidas excesivas de agua por evapotranspiración y poder almacenar mayor cantidad de agua que será necesaria en momentos de déficit hídricos, pero sobre todo en los períodos de concentraciones excesivas de sales (plantas halófilas).
- Flores muy pequeñas, pues el viento actúa de agente polinizador y, por tanto no necesitan de gran volumen ni colorido para atraer a los insectos que suelen tener esta misión.
- Un porte con tendencia al enanismo y hojas frecuentemente lampiñas reducen la superficie transpirante, esencial en medios con acusada sequía estival y elevada falta de agua (recuérdese del apartado I.6 que la falta de agua oscila en La Mancha de 316 mm en Las Pedroñeras a 810 mm en Tomelloso).
- Un sistema radical de desarrollo horizontal para aprovechar mejor las aguas meteóricas (dulces) y alejarse de las aguas subsuperficiales (más salobres).

V.2.2. La vegetación natural en el entorno de las higrocora

A. Laguna Chica de Villacañas

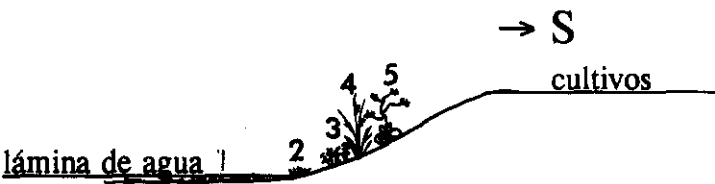
a. Al norte de la laguna, donde se instalaron las pruebas de redox y tiras de algodón.



Cuadro 47.- Niveles piezométricos en la laguna Chica de Villacañas en cm. (* = piezómetros taponados o con barro).

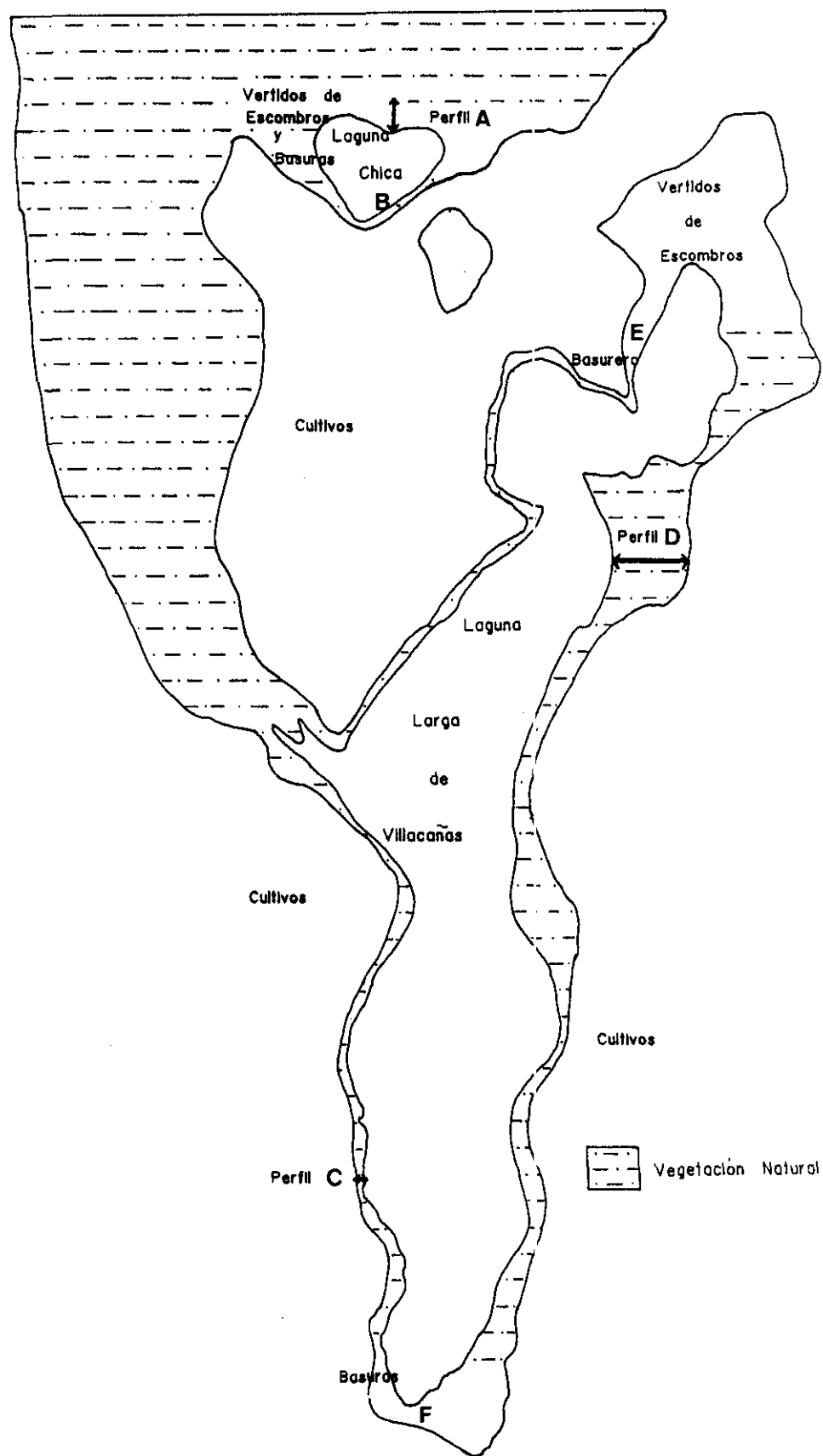
	EN	FE	M	AB	M	JN	JL	AG	S	OC	NV	D C	E/ 91	F B
P1/89		-41	-48	-47	-64	-69	-86	-84	*	-89	-65	0		
/90	-22.5	-24	-41	-57	-62	-78	-90*	-71*	*	-85	-110		-	-9
													43	
P3/89			-45	-41	-74	-66	-125	-137	*	-90	-66	0		
/90	-7.0	-9	-46	-77	-91	-138	-150*	-119*	*	*	*		-	-
													25	
P4/89			-50	-37	-81	-68	-28	-142	*	-88	-64	0		
/90	0.0	-6	-43	-75	-81	-88	-164*	-172*	*	-139	-64	-	-	-
													27	

b. Al sur de la laguna, con borde de pendiente escarpada.



1. *Ruppia drepanensis*
2. *Salicornia ramosissima*
3. *Suaeda vera* subsp. *brevifolia*
4. *Scirpus tabernaemontani*
5. *Limonium* sp.
6. *Elymus pungens*
7. *Microcnemum coralloides*
8. *Suaeda maritima*
9. *Lygeum spartum*

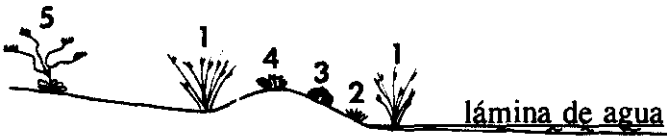
Fig.55.- Superficie ocupada por la vegetación natural en las lagunas Larga y Chica de Villacañas (Toledo).



B. Laguna Larga de Villacañas

c. Al W, donde se instaló la estación de redox A

W ←

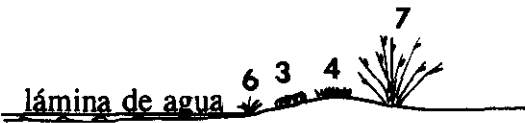


Cuadro 48.- Niveles piezometricos de la laguna Larga de Villacañas en cm.

	EN	FEB	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P1/89	-22	-20	-24	-20	30	-32	-50	-74	-67	-42	-29	-15
/90	+20	+20	+15	+15	+13	-	-	-39	-45	-38	-29	-25
P2/89	-2	0	-10	-2	-21	-23	-35	-48	-45	-17	-11	0
/90	+45	+31	+28	+26	+25	-	-	-25	-31	-20	7	0

d. Al E de la laguna.

→ E



e. Al norte de la laguna, junto al basurero.

N ←



f. Al sur de la laguna Larga en suelo muy arcilloso (solonchack). y donde se colocó la estación de redox B.

S ←



Cuadro 49.- Niveles piezométricos bajo el Schoenus nigricans en la laguna Larga de Villacañas en cm. (1989).

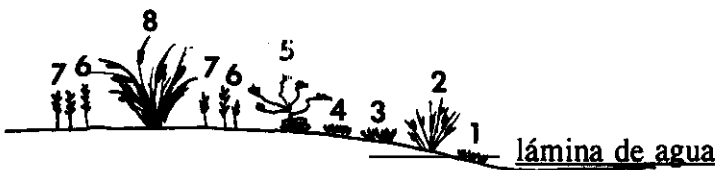
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P1	-22	-20	-20	-20	-30	-32	-50	-74	-67	-42	-29	-15

1. *Scirpus tabernaemontani*
2. *Salicornia ramosissima*
3. *Salsola vermiculata*
4. *Suaeda vera* subsp. *brevifolia*
5. *Limonium* sp.
6. *Suaeda maritima*
7. *Juncus maritimus*
8. *Schoenus nigricans*

C. Laguna de Peña Hueca

g. Al W del vaso lagunar mayor, junto a la estación de redox .

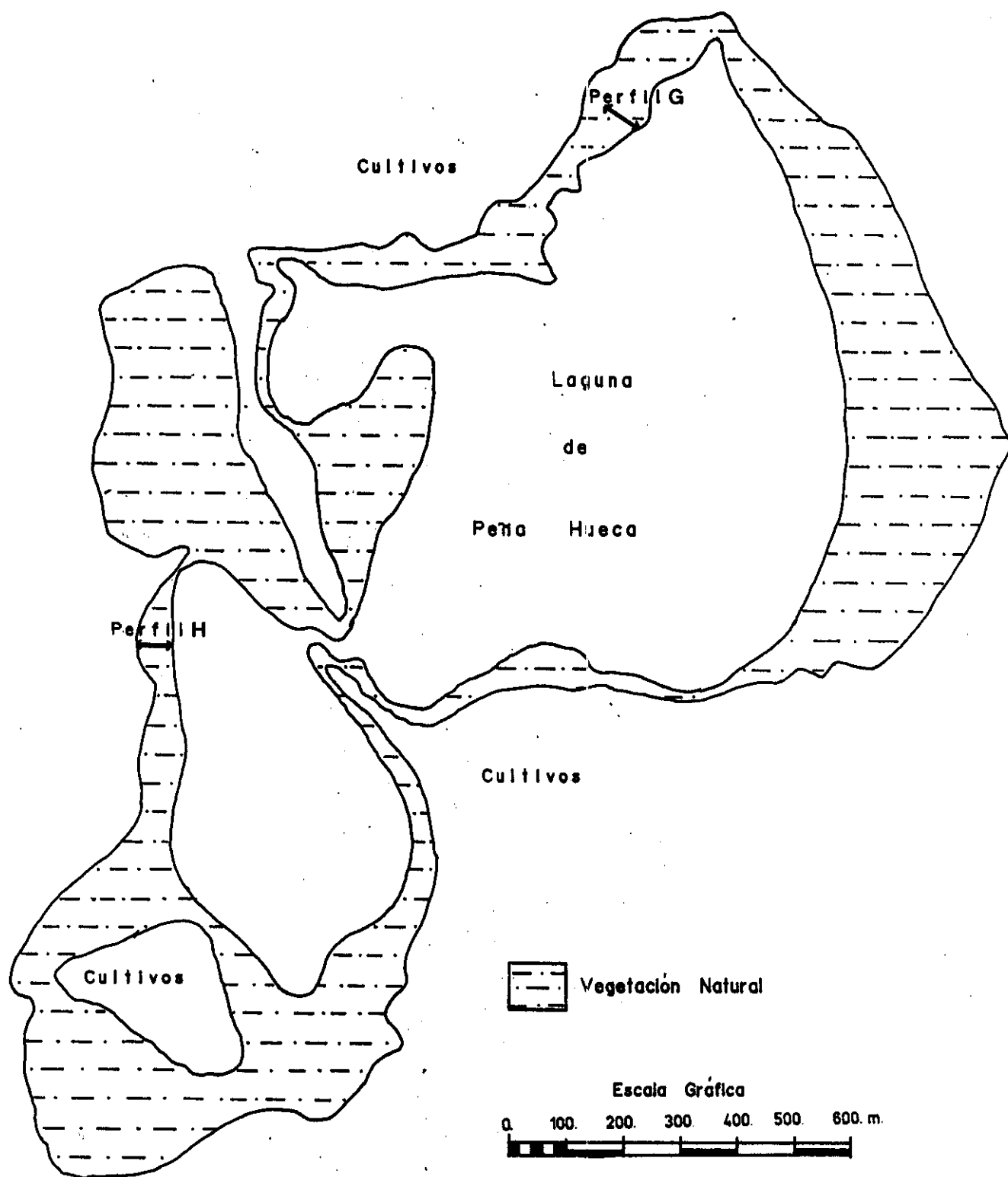
NW ←



Cuadro 50.- Niveles piezométricos en la laguna de Peña Hueca en cm.

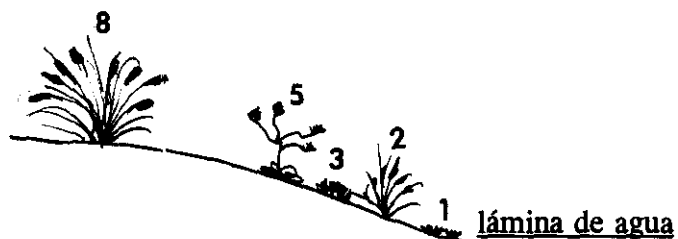
	EN	FE	MR	AB	MY	JN	JL	AG	OC	NO	DI	E/91	FE
P1/89		-42	-45	-42	-41	-54*	-54*	-54*	-68	-47	-31	-28	-30
/90	-28	-30	-35	-47	-54	-80*	-68*	-54*	-76*	-104	-35	-31	-35
P2/89		-48	-51	-50	-53	-53*	-53*	-53*	-89	-65	-40	-34	-30
/90	-34	-30	-57	-63	-79	-117	-90*	*	*	-120		-74	-32
P4/89		-95	-108	-96	-64*	-68	-72*	-72*	-148	-127	-100	-60	-63
/90	-60	-63	-88	-102	-109	-145	-163	*	*	-195		-125	-33

Fig.56.- Superficie ocupada por la vegetación natural en la laguna de Peña Hueca.



h. En el borde NW del vaso menor

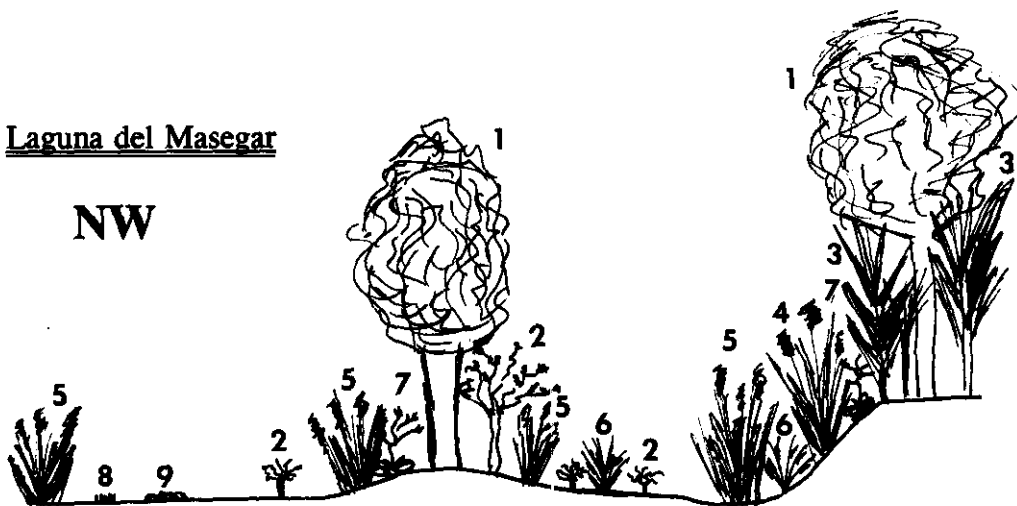
NW



1. *Sarcocornia perennis* subsp. *alpini*
2. *Schoenus nigricans*
3. *Suaeda vera* subsp. *brevifolia*
4. *Microcnemum coralloides*
5. *Limonium* sp.
6. *Elymus pungens*
7. *Elymus repens*
8. *Lygeum spartum*

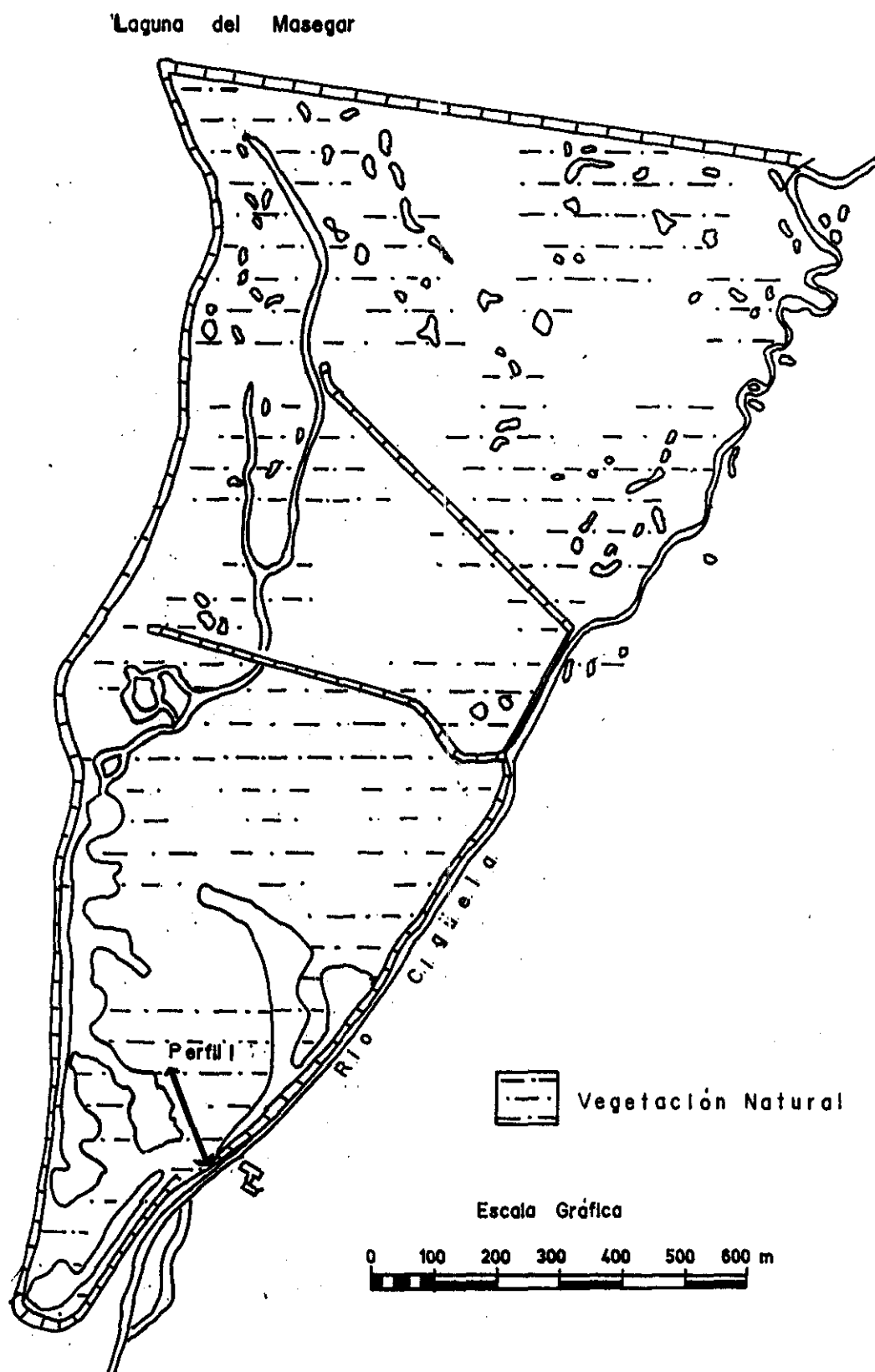
i. Laguna del Masegar

NW



1. *Populus alba*
2. *Tamarix* sp.
3. *Arundo donax*
4. *Phragmites australis*
5. *Cladium mariscus*
6. *Schoenus nigricans*
7. *Limonium* sp.
8. *Ranunculus baudotii*
9. *Alisma plantago-aquatica*

Fig.57.- Superficie ocupada por la vegetación natural en la laguna del Masegar.



Cuadro 51.- Familias y especies vegetales más comunes en el entorno de las lagunas del SE de Toledo.

Familias	Especies
Quenopodiáceas	<i>Arthrocnemum perenne</i> <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> <i>Atriplex halimus</i> <i>Microcnemum coralloides</i> <i>Sarcocornia perennis</i> subsp. <i>alpini</i> <i>Salicornia ramosissima</i> <i>Suaeda maritima</i> y <i>S. vera</i> subsp. <i>brevifolia</i> <i>Salsola vermiculata</i> y <i>S. splender</i>
Juncáceas	<i>Juncus maritimus</i>
Cyperáceas	<i>Carex hispida</i> <i>Cladium mariscus</i> <i>Schoenus nigricans</i> <i>Scirpus lacustris</i> , <i>S. littoralis</i> , <i>S. maritimus</i> y <i>S. tabernaemontani</i>
Tamaricáceas	<i>Tamarix gallica</i> y <i>T. africana</i>
Tifáceas	<i>Typha angustifolia</i> y <i>T. latifolia</i>
Plumbagináceas	<i>Limonium dichotomum</i> , <i>L. delicatulum</i> , <i>L. supinum</i> , etc.
Plantagináceas	<i>Plantago crassifolia</i> y <i>P. maritima</i>
Gramíneas	<i>Aeluropus littoralis</i> <i>Arundo donax</i> <i>Agrostis</i> sp. <i>Brachypodium distachyon</i> <i>Elymus pungens</i> y <i>E. repens</i> <i>Festuca</i> sp. <i>Hordeum marinum</i> <i>Lygeum spartum</i> <i>Parapholis</i> sp. <i>Phragmites australis</i> y <i>P. comunis</i> <i>Polypogon littoralis</i> , <i>P. maritimus</i> y <i>P. monspeliensis</i> <i>Puccinellia fasciculata</i>
Compuestas	<i>Senecio acuaticus</i> y <i>S. paludosus</i> <i>Sonchus palustris</i> <i>Pulicaria paludosa</i>

V.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La vegetación natural propia de las higrocoras del sureste toledano se define por el carácter halófilo y subacuático, aunque la variabilidad de salinidad en las aguas de las lagunas y el grado de humedad en los suelos determinarán la tipología y diversidad de especies.

Desde el punto de vista de la vegetación, las cuatro lagunas estudiadas pueden clasificarse en dos grupos: uno, formado por las lagunas de Villacañas -Larga y Chica- y Peña Hueca -endorreicas, salobres o salmueras-, cuyos bordes se ven afectados por avances y retrocesos de las aguas salinas de la laguna y por encharcamientos ocasionales a consecuencia de los ascensos de las aguas subsuperficiales. Otro, lo constituye el humedal artificial situado en el margen derecho del río Cigüela: el Masegar, caracterizado por el predominio de aguas dulces (del río Cigüela) y subsalinas por el aporte de aguas subsuperficiales (ligeramente salinas), por el ascenso de sales por capilaridad, por la concentración de solutos en superficie y por el posterior lavado con las aguas meteóricas.

De los cortes realizados en las lagunas del primer grupo caben destacar:

- Las especies que habitan en el mismo borde de las lagunas, en suelos inundados o muy húmedos son *Salicornia ramosissima* (lagunas de Villacañas) y *Sarcocornia perennis subsp. alpini* (Peña Hueca)⁸⁴, y es frecuente la compañía de *Puccinellia fasciculata*. Son especies típicas de áreas de borde en contacto con el agua de las lagunas y expuestas a inundaciones periódicas, siendo el "*Puccinellio-Sarcocornietum alpini* ... la comunidad fruticosa que soporta un período más prolongado de inundación"⁸⁵. Durante el verano, al igual que la superficie del suelo, ambas especies aparecen cubiertas de eflorescencias salinas.

Las dos quenopodiáceas mencionadas suelen ocupar la primera banda más o menos continua de 1 ó 2 m de anchura, que se ve interrumpida por masas densas de *Scirpus tabernaemontani* (laguna Chica), *Juncus maritimus* (laguna Larga) y *Schoenus nigricans* (l. Larga y l. de Peña Hueca), esta última con una marcada preferencia por los suelos arcillosos.

Durante los años 1989 y 1990, ciperáceas y juncáceas estuvieron expuestas a inundaciones entre 1 y 2 meses al año (diciembre y/o febrero), y el nivel piezométrico se mantuvo en primavera y otoño entre -10 cm y -34 cm, alcanzándose el nivel más bajo en la laguna Larga de Villacañas en agosto, con -67 cm bajo el *Schoenus nigricans* y -48 cm bajo el *Scirpus tabernaemontani*.

- En las lagunas Larga de Villacañas y Peña Hueca, junto a estas especies típicamente

⁸⁴. - CIRUJANO, S. (1980): Las lagunas manchegas ... Opus cit., pág.168.

⁸⁵. - CASTROVIEJO S. y CIRUJANO, S. (1980): *Sarcocornietea* en La Mancha (España). *An. Jardín Bot. de Madrid* : 37 (1), pág. 145.

halófilas, aparecen algunos sectores cubiertos por densos carrizales (*Phragmites australis*), más propios de humedales menos salinos o riberas de los ríos. Estas franjas de carrizos se desarrollan gracias a la ligera tolerancia de la especie a la salinidad, pero, sobre todo, por la incorporación de aguas dulces a las lagunas procedentes de los regadíos cercanos, de los pozos limítrofes (laguna de Peña Hueca) y de aguas residuales (laguna Larga), que amortiguan la excesiva salinidad de ambas lagunas. Sin embargo, estas actuaciones antrópicas están originando el desarrollo de especies invasoras, no características de saladares, sino más bien de un amplio abanico de espacios húmedos y, por ende, un retroceso de las especies típicas, más sensibles a las alteraciones del medio.

- La franja inmediata a la anterior, con suelos bastante húmedos pero fuera de las inundaciones está ocupada por *Suaeda vera subsp. brevifolia*, especialmente en las laguna Chica de Villacañas y Peña Hueca, estacionales y, por tanto con un período seco más acentuado. En general, la presencia de esta especie indica un área sometida a un período de encharcamiento menor que otras quenopodiáceas (*Salicorniae*, *Sarcocorniae* y *Arthrocnemum*).

Las medidas piezométricas permitieron conocer con exactitud los diferentes niveles del agua durante los años 1989 y 1991, e indicaron ausencia de agua en superficie en las lagunas de Peña Hueca y Larga de Villacañas (en ésta hay que exceptuar los desbordamientos excepcionales ocurridos entre enero y mayo de 1990, ya comentado en el capítulo anterior). Los valores oscilaron entre -15 cm en diciembre de 1989 en la laguna Larga de Villacañas y -30 cm en febrero de 1991 en Peña Hueca, y mínimos de -74 cm en agosto de 1989 y -104 cm en noviembre de 1990 en las citadas lagunas respectivamente.

- En la laguna Larga de Villacañas, a consecuencia de la elevada degradación de los bordes lagunares y de la contaminación de las aguas hay muchos sectores, especialmente al norte, que sólo habitan algunas quenopodiáceas, *Salsola vermiculata* y *Suaeda maritima*, adaptadas a colonizar terrenos alterados, ricos en derivados nitrogenados (junto al desagüe del pueblo de Villacañas a la laguna), en escombreras y en basureros.

- El *Limonium sp.* suele ocupar lugares próximos a los bordes de las lagunas, pero escogiendo los suelos más elevados o bien posiciones más alejadas, pues las especies más frecuentes en los saladares manchegos (*L. costae* y *L. supinum*) "no soporta inundaciones"⁸⁶. En general, algunas plumbagináceas están muy difundida por los humedales manchegos debido a la tolerancia a la salinidad y a su adaptabilidad a los suelos secos, salinos o yesosos. Los tallos suelen alcanzar un buen desarrollo, en las dos lagunas estacionales (Peña Hueca y l. Chica de Villacañas), en torno a 40-50 cm⁸⁷.

Los niveles piezométricos bajo *Limonium sp.* oscilaron del nivel más próximo a la

⁸⁶.- CASTROVIEJO, S. y CIRUJANO, S. (1980): *Sarcocornietea* ... Opus cit., pág. 153.

⁸⁷.- S. CIRUJANO (1980) atribuye en las lagunas Larga de Villacañas y Peña Hueca la comunidad *Limonietum latibracteato-tournefortii*, Castroviejo & Porta 1976 em nom. Castroviejo & Cirujano.

superficie del invierno (entre -30/-40 cm en la laguna de Peña Hueca y -50/-60 cm en la laguna Chica de Villacañas), hasta el nivel más bajo del verano o principios del otoño (entre -80/-110 cm).

Es frecuente que en pequeñas vaguadas próximas a las plumbagináceas se encuentren nuevamente quenopodiáceas adaptadas a mayor humedad como *Suaeda vera subsp. brevifolia* o *Microcnemum coralloides* (l. Chica de Villacañas y l. de Peña Hueca).

- Más alejadas de los bordes lagunares que *Limonium sp.* aparecen un conjunto de gramíneas bien adaptadas a las condiciones xéricas estivales y, por sus posiciones quedan al margen de las inundaciones. Suelen ocupar praderas más o menos saladas con suelos pobres en materia orgánica. Entre ellas destacan el albardín (*Lygeum spartum*), *Elymus pungens* y *Elymus repens*. El primero se caracteriza por instalarse en "los suelos con desecación estival prolongado, en los que pueden aparecer eflorescencias salinas"⁸⁸.

El nivel piezométrico desciende por debajo de 1 m entre 5 y 6 meses al año de junio/julio a octubre/noviembre y el agua piezométrica puede descender hasta -150/-170 cm.

El otro grupo de vegetación correspondía al humedal artificial del Masegar, en la margen derecha del río Cigüela. En él se dan cita un gran número de especies vegetales, arbóreas, arbustivas y herbáceas. Deben destacarse, las labores de repoblación de las "palerías" (en las riberas del río que sirven de línite, a su vez, de éste con el citado humedal), con diversas especies ripícolas y freatófilas, tales como *Populus alba*, *Populus nigra*, *Arundo donax* y *Tamarix sp.*

En la preparación del humedal para la óptima acogida por parte de las aves acuáticas, también se construyeron pequeñas isletas en el interior de la higrocora que fueron igualmente repobladas. En este caso, las especies escogidas fueron algunas de las ya existentes en otros puntos del humedal o riberas del Cigüela, entre las que destacan: algunos pies de *Tamarix sp.*, carrizos (*Phragmites australis*) y masiega (*Cladium mariscus*), aunque, también hay alguna isla (próxima al cauce del Cigüela, en el denominado "embarcadero") con *Populus alba* y *Arundo donax*.

Respecto a los tarayes son los árboles característicos de los humedales de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela debido a que "toleran o incluso prefieren algunos la presencia de sales en el suelo y en las aguas freáticas"⁸⁹. A su vez, como "las propiedades químicas del agua y más concretamente su mayor o menor contenido en cloruros, resultan ser el principal factor determinante en la diferenciación florística y

⁸⁸.- RIVAS-MARTÍNEZ, S. y COSTA, M. (1976): Datos sobre la vegetación halófila de La Mancha (España). *Colloques Phytosociologiques IV-Les Vases salés*. Lille, pág. 91.

⁸⁹.- FERRERAS CHASCO, C. (1986): Los tarayales españoles y su significación paisajística. *An. de Geografía de la Universidad Complutense*, pág. 190.

ecológica de los tarayales"⁹⁰, las especies predominantes en dicha laguna son *Tamarix gallica* y *Tamarix africana*, pues como se vio en el apartado IV.4.2. las aguas de la laguna del Masegar son muy duras, sulfatada-cálcicas, con un contenido de cloruros que oscila de 2.698 ppm a 167 ppm, salobres en verano o períodos de falta de agua con escasos niveles (<5-10 cm) y *dulces* el resto del año.

Evidentemente la laguna del Masegar recibe su nombre de la masiega, especie que se desarrolla en los suelos húmedos, sometidos a inundaciones largas y en aguas ricas en calcio, por lo que encuentra aquí las condiciones óptimas. Incluso en la primavera de 1994, cuando la laguna estaba prácticamente seca (sólo pequeñas charcas) y acusaba ya una sequía de varios años, la masiega (*Cladium mariscus*) ocupaba extensiones amplias en el interior de la laguna.

Aunque es común el comentario sobre el retroceso de masiegas en favor de carrizos, a consecuencia de las modificaciones hidroquímicas en muchos humedales, no se dispone de información suficiente, ni se han encontrado publicaciones científicas que avalen dicha afirmación. Sí es cierto que la masiega es dominante en el interior de la laguna, sin embargo, en las islas artificiales los tarayes (*Tamarix sp.*) y carrizos (*Phragmites australis*) son más abundantes, quedando la masiega limitada a algunos sectores de borde, posiblemente por la mayor humedad de los suelos en esa posición.

Junto a la masiega, y especialmente en los taludes de los muros interiores de la laguna y de las palerías, aparecen otras dos ciperáceas, -*Carex hispida* y *Schoenus nigricans*, la primera típica de aguas alcalinas, ricas en calcio y, la segunda, de carácter halófilo.

Por último, sobre el fondo de la laguna casi seco (sólo pequeñas charcas) se desarrollaron durante la primavera de 1994 algunos ranúnculos de aguas salobres (*Ranunculus baudotii*) y alismatáceas (*Alisma plantago-aquatica*), propias de sitios húmedos y aguas lentas.

⁹⁰.- FERRERAS CHASCO, C. (1986): Los Tarayales españoles ... Opus cit., pág. 191.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

El análisis de los humedales de la confluencia Riánsares y Cigüela desde las diferentes perspectivas tratadas en esta obra permiten concluir indicando que La Mancha, lejos de ser un espacio monótono contiene una gran heterogeneidad espacial y los humedales, además de constituir una variedad paisajística y un importante recurso para la fauna, encierran unos valores funcionales que a continuación se resumen.

Desde el punto de vista climático, los humedales del extremo suroriental toledano, situados en uno de los sectores más secos de La Mancha, constituyen enclaves microclimáticos con matices diferentes en función de la duración de la lámina de agua, de la posición topográfica y de la cobertura vegetal. Así, en los humedales se clasifican tres tipologías:

- Microclima de valle o depresión. Localizados en los humedales de la llanura de inundación de los ríos Riánsares y Cigüela (lagunas del Taray y del Masegar), se sitúan topográficamente en un área deprimida y con densa cubierta vegetal. Están caracterizados por la mayor humedad y menor temperatura nocturna que su entorno, siendo los únicos lugares donde en invierno puede helarse el agua intersticial del suelo.

- Microclima higronómico. Corresponde a todos los humedales con aguas permanentes o con un período seco muy corto y presentan temperaturas más suaves que su entorno unos 2°C (±).

- El resto de las lagunas, con larga estacionalidad y escasa cubierta vegetal, presentan las mismas características termométricas que el resto de La Mancha, por lo que se han denominado lagunas con clima regional.

La variable climática que mayor relación mantiene con los niveles de agua de las lagunas es la evaporación, y especialmente con la ETP de Thornthwaite, siendo ésta la principal responsable del vaciado de las lagunas. Así, los períodos de falta de agua de los balances hídricos anuales se corresponden con la falta de agua de las lagunas estacionales (no intervenidas por el hombre), pudiéndose considerar el balance hídrico de 1989 como situación propia de años húmedos y 1990 de años secos. A su vez, la falta de correlación entre dichos niveles y la precipitación señala que los aportes hídricos de las lagunas son múltiples y suelen combinarse aguas de orígenes dispares: pluviales, kársticas, subálveas, subterráneas y antrópicas.

Comparado con las áreas montañosas la menor magnitud de las formas estructurales en La Mancha podría conducir a la errónea idea de tratarse de un relieve poco variado. Sin embargo el estudio del sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela ha revelado que la falta de desnivel no es sinónimo de homogeneidad, sino que este sector manchego es un magnífico ejemplo para conocer la amplia sucesión de formas denudativas, fluviales, kársticas, pseudokársticas y antrópicas.

Gracias a la complejidad morfológica y geológica de este sector manchego se han podido originar los distintos humedales, pues todos ellos deben su génesis y posterior evolución a la suma de varios factores, entre los que se destacan:

- La laguna Chica de Villacañas: comienza a formarse cuando se separa de la antigua red fluvial (supuestamente pliocena). Posteriormente y bajo condiciones xéricas se van formando los diferentes materiales evaporíticos que configuran parte de la laguna. Por último los procesos pseudokársticos (disolución y ligera subsidencia) son los responsables finales de la configuración actual de la laguna.
- La laguna Larga de Villacañas: se origina gracias a la existencia de una falla de dirección N-S y a la posición de los sedimentos impermeables mesozoicos.
- La laguna de Peña Hueca: debe su génesis a su posición en el centro de una cuenca (origen endorreico) y a la actuación combinada de los procesos kársticos y pseudokársticos.
- La laguna del Masegar: creada en la llanura de inundación de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela, presenta continuos procesos pseudokársticos que dan lugar a variaciones topográficas, edáficas e hídricas.

Desde el punto de vista edafológico tampoco puede decirse que las lagunas sean homogéneas, pues las cuatro presentan tipologías diferentes (Gypsisoles, Solonchak, Regosoles-Luvisoles y Gleysoles). No obstante, como características comunes destacan el carácter alcalino y las propiedades gipsíferas y calcáricas. A su vez, sólo presentan características gléicas algunos suelos de las higrocoras permanentes o con corta estacionalidad (lagunas Larga de Villacañas y del Masegar), por lo que este carácter parece tener una estrecha vinculación con la cantidad de agua de las lagunas. Así, la desaparición continuada del agua en los vasos lagunares conducirá a la pérdida del carácter gléico de los suelos, como es muy posible que haya ocurrido en los suelos del Masegar, al igual que anteriormente sucediera con el carácter flúvico (cuando los suelos dejaron de recibir aportes periódicos del río).

Pese a la indudable evolución de los suelos analizados todavía conservan las características edafológicas necesarias para considerar a estas lagunas manchegas "zonas húmedas". Esto es, estos suelos mantienen la capacidad oxido-reductora esencial en dichas zonas (valores de los potenciales redox < 400 mV durante 2 años), siendo ésta una de las funciones más importantes de los humedales: la capacidad depuradora de ciertos compuestos difícilmente eliminables de los suelos.

De todos los muestreos de los potenciales redox los valores más frecuentes son de $+100$ a $+400$ mV, siendo éste el rango teórico en que se producen los primeros procesos reductores (se reducen los NO_3 a NO_2 y a N_2 , el Mn^{4+} a Mn^{2+} y del Fe^{3+} a Fe^{2+}).

Los análisis de la descomposición de las tiras de algodón como método indirecto para conocer la actividad microbiana de los suelos sólo se considera aceptable en la Mancha para los suelos con carácter gléico. En general, el método sí revela fielmente las condiciones meteorológicas de los suelos, siendo la temperatura y la humedad los parámetros determinantes en la descomposición de la celulosa. A su vez, es un buen indicador de los cambios estacionales en los humedales, cambios que están en consonancia con los meteorológicos. Sin embargo este método, diseñado para países más húmedos y templados, tiene como principal objetivo detectar cambios en la actividad microbiana más rápidos que los simplemente climáticos debido a que los humedales suelen presentar los elementos óptimos para que así ocurra (agua y temperaturas más cálidas). No obstante, las frías temperaturas del invierno y el tórrido verano manchego limitan los períodos vegetativos a la primavera y el otoño, como ya demuestran las adaptaciones xerófilas de muchas especies vegetales.

El sector Villacañas-confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela también presenta una gran heterogeneidad desde el punto de vista hidrológico, ya que las lagunas analizadas varían desde aguas dulces o subsalinas a salmueras.

Aunque sólo la laguna Larga de Villacañas muestra una contaminación elevada y permanente por vertidos domésticos e industriales, las restantes (excepto la laguna del Masegar) presentan contaminación agrícola en primavera por nitratos y fosfatos.

La diferente salinidad de las lagunas endorreicas depende de la configuración de la cuenca de avenamiento de la laguna y de la variedad de aportes hídricos que posea, siendo tanto más salinas cuando tiene una cuenca bien configurada y presenta aportes de aguas subsuperficiales y/o subterráneas procedentes del lavado de terrenos mesozoicos.

Las lagunas endorreicas son claramente cloruradas, pues el ion cloruro es conservador y tras su deposición no tiene posibilidad de evacuación ulterior.

La vegetación, buena indicadora de las condiciones ambientales en cualquier medio, indica contaminaciones en las salmueras de Peña Hueca y Villacañas (laguna Larga) de aguas dulces procedentes del avenamiento de las tierras de regadío en la primera y de aguas domésticas en la segunda. Así, ambas lagunas colonizadas por especies halófilas (salicornias, sarcocornias, suaedas, etc.), muestran algunas masas densas de carrizos (*Phragmites sp*), especie invasora de terrenos húmedos, con cierta tolerancia a la salinidad, pero que no son propias de estos espacios.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCARAZ, F.; ORTÍZ, R. y HERNANDEZ, S. (1987): "Contribución al conocimiento de las relaciones suelo-agua-vegetación en un sector de las Salinas de Santa Pola (Alicante, España)". *Anal. Edaf. y Agrob. Tomo XLVI*, 3-4: 273-283.
- ALIAS, L.J. y SANCHEZ, A. (1983): "Algunos suelos halomorfos de El Pedernoso (Cuenca)". *Anal. Edaf. y Agrob. XLII*, 9-10: 1523-1539.
- AMADI, T.H. (1989): "The simultaneous effect of Eh and pH on distribution of micronutrients fraction (Mn, Fe, Zn, Cu, Co) in a waterlogged soil". Iraq, *ZANCO*, 2 (4): 39-57.
- ARAMBARRI de, P. (1983): "Las clases de fosfatos. Su disponibilidad en suelos agrícolas y otros trabajos relacionados con el elemento fósforo. Parte I: Métodos analíticos, fósforo disponible y clases de fosfatos". *Anal. Edaf. y Agrob. XLII*: 1757-1772.
- ARANDA ALONSO, F.; ARANDA GUTIÉRREZ, F. y ARANDA GUTIÉRREZ, M. (1984): *Observaciones al clima de Toledo*, Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos. Diputación Provincial de Toledo, 464 págs.
- ARÉVALO, C. (1929): *La vida en las aguas dulces*. Barcelona, Ed. Labor, 189 págs.
- ARQUE, P. (1946): "Aridite et endorreisme en Espagne". *Est. Centr. Ecol.*, n° 8: 11-27.
- ARRICIBITA, F.J.; IÑIGUEZ, J. y VAL, R.M.^a (1988): "Estudio de los gypsiorthids de Navarra". *Anal. Edaf. y Agrob. XLVII*, 1-2: 199-220.
- BARRACLOUGH, D. (1989): "A usable mechanistic model of nitrate leaching. I. The model". *Journal of Soil Science*. 40: 543-554.
- BENAYAS, J.; GUERRA, A.; BATLLE, J. y GUMUZZIO, J. (1988): "Micromorfología de algunos suelos con acumulación de yeso en la Región Central española (Toledo-Ciudad Real)". *Anal. Edaf. y Agrob. XLVII*, 1-2: 221-241.
- BENAYAS, J.; CRUZ de la, M.^aT. y REY BENAYAS, J.M.^a. (1992): "Características micromorfológicas de suelos de humedales en zonas semiáridas (Cuenca del Duero)". *Suelo y Planta. Vól. 2, núm. 1*: 13-25.
- BOHN, H.L. (1971): "Redox potential". *Soil Science*, 112: 39-45.
- BOHN, H.L. (1992): "Chemical activity and aqueous solubility of soil solid solution. *Soil Science*, 154: 357-365.
- BOX AMORÓS, M. (1987): *Humedales y áreas lacustres de la provincia de Alicante*. Alicante, Inst. de Estudios "Juan Gil Albert", CSIC, 290 págs.
- BOX AMORÓS, M. y ANDREU, C. (1990): "La laguna del Hondo y la Albufera de Elche. Dos enclaves húmedos del litoral Sur de Alicante". Córdoba, *Jornadas de Geografía Física y Análisis Medio Ambiental en las lagunas del Sur de Córdoba*:

85-106.

- BUSTAMANTE, I.; LÓPEZ CAMACHO, B. y MARTÍNEZ ALFARO, P.E. (1987): "Efectos de los vertidos líquidos contaminantes en el acuífero de la llanura manchega". *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, vol. XII: 87-100.
- BUSTILLO; GARCÍA, C.; MARFÍL, R.; ORDOÑEZ, S. y PEÑA de la J.A. (1978): "Estudio sedimentológico de algunas lagunas de la región manchega, sector Lillo-Villacañas-Quero (Provincia de Toledo)". *Estudios Geológicos*, 34: 187-191.
- CALONGE CANO, G. (1989): "Significación ecológica y geográfica de las lagunas entre Cuellar y Cantalejo (Segovia)". Madrid, *XI Congreso Nacional de Geografía*, Vol. 2: 355-363.
- CAPEL MOLINA, J.J. (1990): "Riesgos climáticos: desertificación y fluctuación climática actual". *Bol. Geológico y Minero*, Vol. 101, 4: 612-620.
- CARENAS, B.; MARFÍL, R. y PEÑA de la, J.A. (1982): "Modes of formation and diagnostic features of recent gypsum in a continental environment, La Mancha (Spain)". *Estudios Geológicos*, 38: 345-359.
- CARLEVARIS, J.J.; HORRA de la y RODRIGUEZ, J. (1992): *La fertilidad de los principales suelos de la provincia de Ciudad Real. La Mancha y Campo de montiel*. CSIC, Madrid y Consejería de Agricultura de Castilla la Mancha.
- CASCOS, C. y MOLINERO, F. (1989): "Las lagunas de Villafáfila: los problemas de conservación de un área húmeda de excepcional valor". Madrid, *XI Congreso Nacional de Geografía*, Vol. 2: 381-390.
- CASTROVIEJO, S. (1976): "Apport a l' aecologie de la vegetation des zones salées des rives de la Cigüela (Ciudad Real, Espagne)". *Coll. Phytosoc.*, nº 4: 115-139.
- CASTROVIEJO, S. y CIRUJANO, S. (1980): "Sarcocornietea en La Mancha (España)". *An. Jardín Bot., Madrid*, 37 (1): 143-154.
- C.I.M.A. (1980): "Resumen del informe sobre la influencia en las Tablas de Daimiel de la extracción de las aguas subterráneas en la llanura manchega". *Boletín informativo del Medio Ambiente*, pp. 97-98.
- CIRUJANO, S. (1980 a): "Las lagunas salobres toledanas". *Temas toledanos*, núm. 5: 11-27.
- CIRUJANO, S. (1980 b): "Las lagunas manchegas y su vegetación. I". *Anales del Jardín Botánico, Madrid*, 37 (1): 155-192.
- CIRUJANO, S. (1981 a): "Las lagunas manchegas y su vegetación. II". *Anales del Jardín Botánico, Madrid*, 38 (1): 187-232.
- CIRUJANO, S. (1981 b): *Estudio florístico, ecológico y sintaxonómico de la vegetación higrófila de la Submeseta Sur*. Tesis doctoral. Madrid, Fac. Cien. Biológicas de la Universidad Complutense.
- CIRUJANO, S. (1982): "Aportaciones a la flora de los saladares castellanos". *Anales del Jardín Botánico, Madrid*, 39 (1): 167-173.
- CIRUJANO, S. (1986): "El género *Ruppia* L. (Potamotonacea) en la Mancha (España)". *Bol. Soc. Prog.* 59: 293-303.
- CIRUJANO, S. y VELAYOS, M. (1985): "Notas sobre la distribución de tres hidrófitos en el Interior peninsular". *Anales del Jardín Botánico, Madrid*, 42 (1): 255-256.
- CLAY, D.E.; CLAPP, C.E.; MOLINA, J.A.E.; LINDE, D.R. (1992): "Soil tillage impact on the diurnal redox-potential cycle". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 (2): 516-521.
- CLAY, D.E.; CLAPP, C.E.; LINDEN, D.R.; MOLINA, J.A.E. (1992): "Tillage influence

- on redox potentials following rainfall". *Soil & Tillage Research*, 22 (3-4): 211-219. USA.
- CLEMPUT, O. Van; PATRICK, W.H. and MCILHENNY, R.C. (1975): "Formation of chemical and biological denitrification products in flooded soil at controlled pH and redox potential". *Soil Biol. Biochem.* Vol.7: 329-332.
- COGGER, C.G.; KENNEDY, P.E. (1992): "Seasonally saturated soils in the Puget lowland. I. Saturation, reduction, and color patterns". *Soil Science*, 153 (6): 421-433.
- COGGER, C.G.; KENNEDY, P.E.; CARLSON, D. (1992): "Seasonally saturated soils in the Puget lowland. II. Measuring and interpreting redox potential". *Soil Science*, 154 (1): 50-58.
- COMISIÓN METODOS ANALÍTICOS (1973): "Determinación analítica en suelos. Normalización de métodos". *Anal. Edaf. y Agrob.* XXXII: 1153-1172.
- COMPAÑÍA GENERAL DE SONDEOS (CGS) e INTERNACIONAL DE INGENIERÍA y ESTUDIOS TÉCNICOS (INTECSA) (1975): *Mapa hidrogeológico de Villacañas*. Proyecto de Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Alta del Guadiana, del Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) del IGME.
- CORONADO, R.; LEÓN, F. y MORILLO, C. (1974): *Guía del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel*. Madrid, ICONA, 174 págs.
- CRUZ da, H. (1982): *Informe sobre las zonas húmedas de la Cuenca Alta del Guadiana y su contexto socioeconómico y ecológico*. Madrid, MOPU.
- CRUZ da, H. (1986): *Guía de las zonas húmedas de la Península Ibérica y Baleares*. Madrid, Ed. Miraguano, 254 págs.
- CUSTODIO, E. (1987): "Peculiaridades de la hidrología de los complejos palustres españoles". *Seminario sobre las bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, pp.43-64.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1929): "Localización de las zonas endorreicas de España". *Mem. de la Real Soc. Esp. de Historia Natural*. Vol. XV, II: 829-836.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1932): "La población de la Mancha española en el centro de su máximo endorreismo". *Bol. Real Soc. Geográfica Nac.*, 72 (1): 25-45.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1940): "La aridez y el endorreismo en España. El endorreismo Bético". *Estudios Geográficos*, 1: 75-118.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1941): "La Laguna salada de Gallocanta (Zaragoza)". *Estudios Geográficos*, 3: 269-301.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1942): "Distribución y extensión del endorreismo aragonés". *Estudios Geográficos*, 8: 505-595.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1944): "La laguna salada endorreica de La Ratosa en la Alameda (Málaga)". *Estudios Geográficos*, 14: 21-26.
- DANTÍN CERECEDA, J. (1958): "Localización del endorreismo aragonés". *Las Ciencias*, 1, XXIII: 554-564.
- DANTÍN CERECEDA, J. y REVENGA, J. (1936): "Geomorfometría de las lagunas de La Mancha". *Bol. Real Soc. Geográfica Nac.*, 76: 129-140.
- De NOVALES, C. (1989): *Caracterización de sedimentos y niveles de algunos metales*

- pesados en espacios lagunares de la provincia de Córdoba.* Tesis Doctoral. Córdoba, Fac. Ciencias.
- DÍAZ ÁLVAREZ, M^aD. (1993): *Estudio descriptivo y geomorfológico de una selección de humedales de la Cuenca Alta del río Guadiana.* Proyecto de doctorado. Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Univ. Complutense. Inédito.
- DING, C.P.; WU, Y.X. (1991): "Oxidation-reduction regime in some soils of Dinghu-Jianfeng mountains and Nada region". China, *Acta Pedologica Sinica*, 28 (3): 295-301.
- DOBERMANN, A.; MUTSCHER, H. (1989): "Experiments on the influence of organic matter and water regime on horizontal and vertical changes of the redox potencial in flooded soil columns". *Beiträge zur tropischen Landwirtschaft und Veterinärmedizin*, 27 (4): 381-393.
- DORRONSORO, C.; ALONSO, P. y RODRIGUEZ, T. (1988): "La hidromorfia y sus rasgos micromorfológicos". *Anal. Edaf. y Agrob.* XLVII, 1-2: 243-278.
- DRURY, C.F.; MCKENNEY, D.J.; FINDLAY, W.I. (1991): "Relationships between denitrification, microbial biomass and indigenous soil properties". *Soil Biology & Biochemistry*, 23 (8): 751-755.
- DUCHAUFOR, PH. (1984): *Edafología: edafogénesis y clasificación.* Ed. Masson, S.A. Barcelona. 493 págs.
- ECHEVARRÍA ARNEDO, M^aT. (1989): "Notas geomorfológicas acerca del foco endorréico en la margen izquierda del río Duero aguas abajo de Soria". *Geographicalia*, 26: 75-81.
- ELÍAS CASTILLO, F. y RUIZ BELTRÁN, L. (1981): *Estudio agroclimático de la región de Castilla-La Mancha.* Dpto. de Agricultura de la Junta de Castilla-La Mancha, 247 págs.
- FAO-UNESCO (1988): *Soil Map of the World. Definition of soil units.* FAO, Roma.
- FARREL, R.E.; SWERHONE, G.D.W.; KESSEL, Van, C. (1991): "Construction and evaluation of a reference electrode assembly for use in monitoring *in situ* soil redox potential". Canada, *Communications in soil Science and Plant Analysis*, 22: 1059-1068.
- FAULKNER, S.P. and PATRICK, W.H. (1992): "Redox Processes and Diagnostic Wetland Soil Indicators in Bottomland Hardwood Forests". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 856-865.
- FERNANDEZ GARCÍA, F. (1980): "Diferenciación regional en función de las precipitaciones y su dinámica en la Submeseta Meridional". *Estudios Geográficos*, 159: 145-169.
- FERRERAS CHASCO, C. (1986): "Los tarayales españoles y su significación paisajística". *An. de Geograf. de la Univ. Complutense*, núm. 6.
- FLESSA, H.; FISCHER, W.R. (1992): "Redoxprozesse en der Rhizosphäre von Land- und Sumpfpflanze". *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155 (5-6): 373-378.
- FLORÍN, M. (1994): *Limnología de las lagunas salinas temporales manchegas. Relación entre fluctuaciones hídricas, hidroquímicas y producción primaria.* Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- FLORÍN, M.; MONTES, C. y RUEDA, F. (1989): "Morphometric characteristics of La

- Mancha wetlands (Central Spain), related to their origin and hydrological functioning". *Submitted to wetland, ecology and management*, 21 pág.
- FONT TULLOT, I. (1984): *Climatología de la Península Ibérica*. Publicación del I.N.M. Madrid.
- FORNÉS AZCOITI, J.M.^a (1994): *Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Tomo 1, Memoria, 315 pág. y Tomo II, Anejos.
- GALÁN, E. (1981): "El clima de la provincia de Toledo y suroeste de Avila". *Estudios Geográficos*, 42: 19-49.
- GARCÉS, I.; TENA, J.M.; AUQUE, L. MANDADO, J. y GIMENO, M.J. (1992): "Evolución geoquímica de las salmueras de las lagunas de Los Monegros (Zaragoza, España) y análisis del equilibrio de la halita". *Estudios Geológicos*, vol. 48: 101-110.
- GARCÍA PALACIOS, M.C.; MARFIL, R. y PEÑA de la J.A. (1978): "Medio evaporítico continental: influencia de las salmueras sobre los sedimentos arcillosos". *Tecniterrae*, 23: 6-10.
- GARCÍA de PEDRAZA, L. y GARCÍA SANJUAN J. (1978): *Diez temas sobre el clima*. Ministerio de agricultura, Madrid.
- GARCÍA ROLLÁN, M. (1983): *Claves de la flora de España (Península y Baleares)*, Vol. II, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 757 págs.
- GARIST, N.N.; SAVISCH, V.I. (1992): "Electrochemical interaction of heavy metals with humic and fulvic acids". Russia. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel' Skoklozyaistvennoi Akademii*, 1: 56-61.
- GARMENDIA, J.; TOMAS C. y LABAJO J. (eds) (1989): *Meteorología y Climatología Ibéricas (Actas de las jornadas de la A.M.E.) Lisboa-salamanca, mayo 1986*. Universidad de Salamanca.
- GARMS, H. y EIGENER, W. (1977): *Plantas y animales de España y Europa*. Ediciones Universidad de Navarra, S.A., Pamplona, 348 págs.
- GONZÁLEZ BERNALDEZ, F. (1992): *Los paisajes del agua. Terminología popular de los humedales*. Ediciones José María Reyero, Madrid, 257 págs.
- GONZÁLEZ BERNALDEZ, F. y MONTES, C. (1989): "Variedad de los humedales mediterráneos: bases de una clasificación genético funcional". *Seminario sobre la gestión de los humedales mediterráneos*. Parque Nacional de Doñana, del 13 al 18 de noviembre, 32 pp.
- GONZÁLEZ BERNALDEZ, F. y MONTES, C. (1989): *Los humedales del acuífero de Madrid. Inventario y tipología basada en su origen y funcionamiento*. Madrid, Canal de Isabel II.
- GRUNDL, T. (1992): "Redox inactivity of colloidal ferric oxyhydroxide solids". *Journal of Contaminant Hydrology*, 9 (4): 369-377.
- GUITIAN OJEDA, F. (1964): "Técnicas de análisis de los suelos. Experiencias en campo". Monografía de *Ciencia Moderna* N° 70. CSIC. Madrid.
- GUMUZZIO, J. (1979): *Los suelos de la región de Ocaña*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- GUMUZZIO, J.; BATLLE, J. y GUERRA, A. (1981): "Contribución al estudio de los suelos salinos en la Submeseta sur (Toledo)". *Anal. Edaf. y Agrob.* XL, 7-8: 1073-

1088.

- GUMUZZIO, J.; ASTURDILLO, J. y MORENO, A. (1983): "Aspectos edafoquímicos de la salinidad en la Submeseta Sur (Toledo). II. Estudio edafoquímico". *Anal. Edaf. Agrob.* XLII, 9-10: 1441-1461.
- GUTIERREZ RÍOS, E. (1944): "Acerca del potencial red-ox en suelos". *Anal. Edaf. y Agrob.* 3: 50-58.
- HARRISON, A.F.; LATTER, P.M. and WALTON, D.W. (Editores) (1988): *Cotton strip assay: an index of decomposition in soils*. Institute of Terrestrial Ecology. Natural Environment Research Council. Great Britain.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1914): "Régimen geográfico y climatológico de la meseta castellana durante el mioceno". *Rev. Academia Ciencias*, XIII. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1929): "Datos geológicos de la meseta toledano-cacereña y de la fosa del Tajo". *Mem. Soc. Esp. Historia Nat.*, XV. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1949): *La Mancha*. Madrid, Real Acad. Cien. Ex. Fís. Nat., 23 págs.
- HERNANDEZ PACHECO, F. (1958): "Anormalidad del Guadiana". *Las Ciencias*, I, XXIII: 51-80.
- HERRERO, M. (1941): "El Pozo Airón". *Estudios Geográficos*, 4: 567-574.
- HODGON, J.M. (1987): *Muestreo y descripción de suelos*. Ed. Reverté, S.A.
- IBAÑEZ, M^aJ. (1973): "Contribución al estudio del endorreísmo de la Depresión del Ebro: el foco endorreico al W y SW de Alcañiz (Teruel)". *Geographica*, 20: 21-32.
- IBAÑEZ, M^aJ. (1975): "El endorreísmo del sector central de la Depresión del Ebro". *Cuade. Invest. Geografía e Historia*, 1 (2): 35-48.
- I.G.M.E. (Ed.) (1952): Mapa geológico de España 1:50.000, Villacañas (687), memoria 21 págs.
- I.G.M.E. (Ed.) (1969): Mapa geológico de España 1:50.000, Quintanar de la Orden (688), memoria 15 págs.
- I.G.M.E. (1985): *Síntesis hidrológica de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. Madrid, 107 págs.
- I.G.M.E. (Ed.) (1971): Mapa Geológico de España, escala 1:200.000, Ciudad Real, núm.61; memoria, 17 págs.
- I.G.M.E. (Ed.) (1972): Mapa Geológico de España, escala 1:200.000, Toledo, núm.53; memoria, 21 págs.
- I.G.M.E. (Ed.) (1973): Mapa metalogenético de España, escala 1:200.000, Toledo (Primera edición), núm.53; memoria, 20 págs.
- I.G.N. (Ed.): Mapa topográfico de Villacañas, escala 1:50.000, hoja 687.
- I.N.M.: *Calendarios meteorológicos anuales desde 1985 a 1992*. Ins. Nac. de Meteorología y Min. de Transp., Turismo y Comunic. Madrid.
- JARAMILLO, A. (1988): "Riqueza económica y biológica de los humedales. Aguas poco profundas". *Rev. del MOPU*, 1: 17-22.
- JARAMILLO, A. (1993): "Problemas ecológicos derivados de la canalización de los cauces". *Rev. del MOPU*, 407: 56-61.
- JESSEN, O. (1946): "La Mancha. Contribución al estudio geográfico de Castilla la Nueva". *Estudios Geográficos*, 23: 269-312.
- JOSSELYN, M.N.; FAULKNER, S.P.; PATRICK, W.H. (1990): "Relationships between

- seasonally wet soils and occurrence of wetland plants in California". *Wetlands*, 10 (1): 7-20.
- JOVER y FERNANDEZ de BOBADILLA, D. (1976): *Notas sobre el clima de Toledo* Inst. Nac. de Meteorología. Madrid, 93 págs.
- JUAREZ SANCHEZ-RUBIO, C. (1979): *Caracteres climáticos de la cuenca del Guadiana y sus repercusiones agrarias*. Ediciones Universidad de Salamanca.
- KAÚRICHEV, I.S. (1984): *Prácticas de edafología*. Ed. Mir Moscú. 288 págs.
- KHOBZI, J. (1972): "Erosion chimique et mécanique dans la genèse de dépressions pseudo-karstiques, souvent endoréiques". *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 2: 57-70.
- KOMADA, M. (1990): "Redox potencial measurements in a flooded paddy field using a compact computer system". In *Transactions 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August. Volume II*: 44-49.
- KRÁLOVÁ, M. (1991): "Carbon dioxide production at low soil redox potencial". Czechoslovakia, *Scientia Agriculture Bohemoslovaca*, 23 (2): 97-100.
- KRÁLOVÁ, M. (1991): "Effect of redox potencial on denitrification in soil". Czechoslovakia, *Scientia Agriculture Bohemoslovaca*, 23 (2): 101-106.
- LA ROCA, N.; FUMARAL, M.^aP. y DUPRE, M. (1989): "La canal de Navarres (Valencia): evolución de un medio endorreico". *XI Congreso Nac. de Geografía*, Vol. 2: 401-411.
- LEIRÓS de la PEÑA, C. y GUITIÁN OJEDA, F. (1985): "A comparison of redox processes in coastal and inland hydromorphic soils in Galicia (NW Spain)". *Catena*, 12: 51-59.
- LLAMAS, M.R. (1982): "Notas sobre peculiaridades de los sistemas hídricos de las zonas húmedas", *Jornadas andaluzas para el estudio de la problemática de las zonas húmedas*, Sevilla. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente, MOPU, Madrid, pp. 77-85.
- LLAMAS, M.R. (1993): "Explotación de aguas subterráneas y conservación de ecosistemas", *Jornadas sobre las Aguas Subterráneas: Importancia y Perspectivas*. ITGE y RAC, Madrid, pp. 193-209.
- LLAMAS, M.R.; RODRÍGUEZ, F.J.; TENAJAS, J. y VELA, A. (1987): "El Parque Nacional de Doñana: el medio físico", *Seminario sobre las bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, pp. 147-172.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1977): "El sector pantanoso al oeste de Albacete y su desecación. Medio físico, desarrollo regional y geografía". Granada, *V Coloquio de Geografía*: 235-246.
- LÓPEZ-CAMACHO, B. (1974): "Estudio hidroquímico de las calizas de los páramos de la Mesa de Ocaña (Toledo). Conclusiones prácticas". *Documentos de Investigación hidrológica*, 17, *V Coloquio de Investigación sobre el agua*: 187-211.
- LÓPEZ-CAMACHO, B. (1981): "Las aguas subterráneas y la ecología". *Ingeniería Civil y Medio Ambiente*: 643-654. CEOTMA, MOPU, Madrid.
- LÓPEZ-CAMACHO, B. y TORRE de la, J. (1979): "Utilización del balance hídrico global de la cuenca alta del Guadiana en la predicción de situaciones futuras". *II Simposio Nacional de Hidrogeología*: 359-379.

- LÓPEZ GARCÍA, J. y LÓPEZ-CAMACHO, B. (1979): "Relaciones precipitación-infiltración en los embalses subterráneos de gran extensión superficial. Aplicación de un modelo de simulación a la Llanura Manchega". *II Simposio de Hidrogeología*: 109-123.
- LÓPEZ GÓMEZ, A. (1970): "Salinas de la comarca de Imón (Guadalajara)". *Est. Geográficos*, vol. 120: 371-395.
- LÓPEZ GONZÁLEZ-MESONES, F. (1991): "Estudio experimental sobre el hinchamiento de los suelos que contienen sales solubles". *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 102, 3: 438-445.
- LYKHMUS, E.I. (1989): "Dynamics of soil redox potential of Myrtillus forest site-type". Estonia, *Pochvovedenie*, 7: 114-124.
- MALTBY, E. (1985): "Effect of nutrient loading on decomposition profiles in the water column and submerged peat in the Everglades. The proceedings of IPS". Jamaica, *Symposium held in Kingston*: 450-463.
- MALTBY, E. (1987): *Variation in decomposition in freshwater wetland. Patterns and contrasts detected by the cotton strip technique*. Universidad de Exeter.
- MANSFEDLT, T.; JUNGFLAISCH-BLESS, R.; BLUME, H.P. und SATTELMACHER, B. (1991): "Einfluss des Redoxpotentials auf die Stoffdynamik einer jungen Kalkmarsch". *Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellsch.*, 66, I: 355-358.
- MARFÍL, R.; BERMEJO, E.P. y PEÑA de la, J.A. (1975): "Sedimentación salina actual en las lagunas de la zona Corral Rubio-La Higuera (provincia de Albacete)". *Rev. Estudios Geográficos*, vol. 31: 525-553.
- MARGALEF, R. (1947): "Estudio sobre la vida en las agguas continentales de la región endorreica manchega". *Publ. Inst. Biol. Apl.*, 4: 5-51.
- MARTINO GONZÁLEZ, P. (1988): *Limnología de las lagunas salinas españolas*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 264 págs.
- MARRS, R.H. (1989): "Nitrogen accumulation and the restoration of ecosystems on derelict land". *Soil Use and Management*. Vol. 5, Number 3.
- MASSCHELEYN, P.H.; PARDUE, J.H.; DELAUNE, R.D.; PATRICK, W.H. (1992): "Chromium redox chemistry in a Lower Mississippi Valley bottomland hardwood wetland". *Environmental Science & Technology*, 26 (6): 1217-1226.
- MEGONIGAL, J.P.; PATRICK, W.H.; FAULKNER, S.P. (1993): "Wetland Identification in Seasonally Flooded Forest Soils: Soil Morphology and Redox Dynamics". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 140-149.
- MITCHELL, J.G. (1992): "Our disappearing wetlands". *Nacional Geographic*, Vol. 182, 4: 2-45.
- MOCHEV, D.; MIRCHEV, S. (1989): "Oxidation-and-reduction state and changes in the iron and manganese in gley forest soils". *Pochvoznanie i Agrokhimiya*, 24 (4): 20-25. Bulgaria.
- MONTES, C. y MARTINO, P. (1987): "Las lagunas salinas españolas". *En Seminario sobre las bases científicas para la protección de los humedales en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: 95-145.
- MONTURIOL, F. et al. (1984): "Estudio agrobiológico de la Provincia de Toledo". *Inst. Edaf. Biol. Veg. e Inst. Prov. Invest. Est. Toledanos*. Toledo.
- MOPU (1984): *Las zonas húmedas en Andalucía*. Madrid, Monografías de la Dirección

General del Medio Ambiente.

- MOPU (1986): *Topónimos hidrográficos de la Cuenca del Guadiana*. Confederación Hidrográfica del Guadiana, 114 págs.
- MORO, P. y LEBORANS, G.F. (1990): "El fósforo en las aguas residuales". *IMU (Ingeniería Municipal)*, febrero.
- MOYAS, J.L.; RECIO, J.M. y GIRALDEZ, J.V. (1990): "Hidroquímica de la laguna de Tiscar (Córdoba, España)". *Estudios Geológicos*, vol. 46, 1-2: 93-98.
- MUDRACK, K. and KUNST, S. (1986): *Biology of Sewage Treatment and Water Pollution Control*. Ellis Horwood Limited.
- MUÑOZ JIMÉNEZ, J. y PALACIOS, D. (1990 a): "El significado de los meandros encajados sobre calizas en la interpretación del establecimiento y evolución de la red hidrográfica en La Mancha y Campo de Montiel". *I Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel, del 17 al 20 de septiembre, vol. 2: 469-478.
- MUÑOZ JIMÉNEZ, J. y PALACIOS, D. (1990 b): "Significado geomorfológico de una paleored de canales meandriformes impresa en las altiplanicies de la Alcarria, Mesa de Ocaña y La Mancha Nororiental". *Eria*, 21: 97-120.
- MUÑOZ MUÑOZ, J.; ARCHILLA ALDEANUEVA, R y REY ARNAIZ, J.M^a (1989): "El Clima de la provincia de Guadalajara", *Paralelo 37*, nº 13: 227-251.
- NIÑEROLA PLA, S. (1976): "Las aguas subterráneas de la llanura manchega". Valencia, *I Simposio Nacional de Hidrogeología*: 1064-1077.
- OCTAVIO de TOLEDO, F y LÓPEZ-CAMACHO, B. (1976): "Relaciones entre el flujo subterráneo y la calidad química de las aguas en formaciones continentales: caso del SE de Toledo", *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, Tomo II: 1078-1101.
- ORDÓÑEZ, S; GARCÍA del CURA, M^a A. y MARFÍL, R. (1973): "Sedimentación actual: la laguna de Petrola (Albacete)". *Estudios Geológicos*, 29: 367-377.
- PANADERA CLOPES, J.M^a (1989): "La cartografía a gran escala de las zonas húmedas". *XI Congreso Nac. de Geografía*, vol. 2: 423-428.
- PARDO, L. (1948): "Catálogo de los lagos de España". *Bol. del Inst. Forestal de Inv. y Experiencias*, Madrid, 532 págs.
- PATRICK, W.H.; WILLIAMS, B.G. and MORAGHAN, J.T. (1973): "A Simple System for Controlling Redox Potential and pH in Soil Suspensions". *Soil Sci. Soc. Am.* 37: 331-332.
- PEINADO MARTÍN-MONTALBO, M. (1989): "Aproximación a algunos de los parámetros físico-químicos de las lagunas manchegas. Sector Alcázar de San Juan-Pedro Muñoz". *XI Congreso Nac. de Geografía*, vol. 2: 429-438.
- PEINADO, M. y MARTÍNEZ-PARRAS, J.M. (1985): *El paisaje vegetal de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, 230 págs.
- PEÑA de la, J.A. (1987): "Las lagunas de La Mancha: un ejemplo de sales en ambiente continental", *Seminario sobre las Bases Científicas para la Protección de los Humedales en España*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, pp.79-94.
- PEÑA de la, J.A.; GARCÍA RUIZ, J.M.; MARFÍL, R. y PRIETO, M. (1982): "Growth Features of Magnesium and Sodium Salts in a Recent Playa Lake of La Mancha (Spain)". *Estudios Geológicos*, 38: 245-257.
- PEÑA de la, J.A. y MARFÍL, R. (1986): "Sedimentación salina actual en las lagunas de

- La Mancha: una síntesis". *Cuadernos de Geología Ibérica*, 10: 235-270.
- PÉREZ GONZÁLEZ, A. (1982): "Neógeno y Cuaternario en la llanura manchega y sus relaciones con la cuenca del Tajo". *Tesis Doctoral*, Univ. Complutense de Madrid, 787 págs.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE. (1989): "Estudio preliminar de los factores genéticos de la laguna de Tírez y su entorno (Toledo)". *XI Congreso Nac. de Geografía*, 2: 439-447.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE. (1990): "Análisis de las aguas de algunas lagunas manchegas: sector Villacañas-Quero (Toledo)". *Jornadas de Geografía Física y Análisis Medio Ambiental en las Lagunas del Sur de Córdoba*: 107-118.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE. (1990): "Los humedales españoles (Nota bibliográfica)". *An. de Geografía de la Univ. Complutense*, 10: 197-203.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE.; GARCÍA RODRIGUEZ, M^aP. y SANZ DONAIRE, J.J. (1992): "Un humedal de Marisma: funcionamiento edáfico del Lucio del Cangrejo (Preparque de Doñana)". En *El Medio Rural Español: cultura, paisaje y naturaleza* (Homenaje a don Ángel Cabo Alonso). Ediciones Univ. de Salamanca y Centro de Estudios Salmantinos, vol. 2: 191-198.
- PESCHET, J.L. y TINET, C. (1989): "El análisis de los iones en hidrología". *IMU*, octubre.
- PLANS, P. (1968): "La cuenca endorreica de la Nava (Palencia) dentro del conjunto de Tierra de Campos". Aportación española al *XXI Congreso geográfico Internacional*. CSIC, pp. 325-361.
- PLANS, P. (1969): "Problemas del endorreísmo español". *Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 63: 271-309.
- PORTA, J. (1975): *Redistribuciones iónicas de los suelos salinos: influencia sobre la vegetación halófila y las posibilidades de recuperación de los suelos con horizonte gypico y otros suelos halomorfos de las márgenes del río Cigüela*. Tesis Doctoral, inédita. E.T.S. Ingenieros Agrónomos. Madrid.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1977): "Morfometría y clasificación de algunos *Gypsiorthids* en España". *An. INIA. Ser. General*. n^o 5: 85-110.
- PŘADKOVÁ, E. (1990): "Studies on changes in soil reaction and oxidation-reduction regime of brown acid gleyed soil in the Žďárské uřchy uplands region". Czechoslovakia, *Acta Universitatis Agriculturae Facultas Agronomica*, 38 (1-2): 91-101.
- RECIO, J.M. y TIRADO, J.L. (1982): "Descripción y caracterización de algunos espacios lagunares de la provincia de Córdoba". *Estudios Geográficos*, 169: 453-467.
- RECIO, J.M.; GARCÍA FERRER, A. y SANCHEZ de la ORDEN, M. (1985): "Zonas húmedas de carácter estacional del sur de la provincia de Córdoba: parámetros físicos de las lagunas de Tiscar y de los Jarales". *Geographica*, vol. 27: 131-134.
- REDDY, K.R. and PATRICK, W.H. (1975): "Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potencial, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil". *Soil. Biol. Biochem.*, Vol. 7: 87-94.
- REDDY, K.R. and PATRICK, W.H. (1977): "Effect of redox potencial on the stability of Zinc and Copper chelates in flooded soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 41: 729-732.
- REDDY, K.R.; DELAUNE, R.D.; DE BUSK, W.F. and KOCH, M.S. (1993): "Long-Term Nutrient Accumulation Rates in the Everglades". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1147-

- REED, D.J. (1993): "Hydrology of temperate wetlands". *Progress in Physical Geography*, vol. 17, 1: 20-31.
- REY, BENAYAS, J.M.^a (1988): "Aproximación al cartografiado automático de datos climáticos". *Anal. Edaf. y Agrob. Tomo XLVII. Núm. 11-12*: 1585-1605.
- REY BENAYAS, J.M.^a; PEÑA, P. y BEZ, A. (1990): "Plantas indicadoras de la presencia de agua subterránea". *Quercus*, 56: 24-27.
- RIVAS GODAY, S. (1947): "La aridez e higrócontinentalidad en las provincias de España y su relación con las comunidades vegetales climáticas (climax)". *An. Inst. Bot. "A.J. Cavanilles"*, 7: 501-510.
- RIVAS GODAY, S. y ASENSIO AMOR, I. (1945): "Suelos y sucesión en el *Schoenoentum nigriscus* (Quero-Villacañas)". *An. Inst. Esp. Edaf. Ecol. Fisiol. Veg.* 4: 148-184.
- RIVAS GODAY, S. y ASENSIO AMOR, I. (1945): "El suelo en la serie de sucesión lacustre". *Bol. Consejo Gen. Coleg. Oficial Farmacia*, 39: 7-14.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. y COSTA, M. (1976): "Datos sobre la vegetación halófila de La Mancha (España)". *Colloques Phytosociologiques IV-Les Vases salées*. Lille, 81-97.
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1987): *Mapa y memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-ICONA, Serie Técnica, Madrid.
- ROBERT, A.M.; HUDSON, J.A. & ROBERT, G. (1989): "A comparison of nutrient losses following grassland improvement using two different techniques in a upland area of mid Wales". *Soil use and Managem.* Vol. 5, 4.
- RODIER, J. (1981): *Análisis de las aguas*. Ed. Ornega, Barcelona.
- ROSELLÓ, V.M. (1972): "Los ríos Júcar y Turia en la génesis de la Albufera de Valencia". *Cuad. de Geografía*, 11: 7-25.
- ROSELLÓ, V.M. (1989): "Zonas húmedas: una reflexión conceptual". *XI Congreso Nac. de Geografía*: 183-193.
- RUZA, F. (1977): "Las zonas húmedas: recursos naturales insustituibles". *CIMA*, 4 : 17-53.
- SANCHEZ NAVARRO, J.A.; MARTÍNEZ GIL, F.J.; DE MIGUEL, J.L. y SAN ROMÁN, J. (1989): "Hidrogeología de la zona endorreica de las lagunas de Los Monegros, provincias de Zaragoza y Huesca". *Bol. Geológico y Minero*, vol. 100: 160-169.
- SANCHEZ PÉREZ de EVORA, A. (1993): *Características edáficas y repercusiones paisajísticas en dos humedales manchegos*. Proyecto de Doctorado, Dep. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Univ. Complutense de Madrid. 75 págs.
- SANZ DONAIRE, J.J. y PÉREZ GONZÁLEZ, M.^aE. (1990): *Estudio de la dinámica de nutrientes en zonas húmedas españolas*. Informe mecanografiado, inédito. Vol. I, 137 págs. y Vol. II, 152 págs.
- SANZ DONAIRE, J.J. y DÍAZ ÁLVAREZ, M.^aD. (1992): "Génesis y funcionalidad geomorfológica de los humedales". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, n^o 12: 93-103.
- SANZ DONAIRE, J.J. y GARCÍA RODRIGUEZ, M.^aP. (1992): "Desertificación, erosión y degradación de suelos". *Rev. Situación 1991/2, Medio Ambiente*, Banco Bilbao Vizcaya, págs. 55-71.

- SANZ DONAIRE, J.J. y SANCHEZ PÉREZ de EVORA, A. (1993): "Humedales manchegos: características de funcionalidad geoedáfica. Resultados preliminares". *An. de Geografía de la Univ. Compl. Madrid*, 13: 169-198.
- SCHRADER, ST. (1991): "Darstellung des Einflusses von Regenwürmern auf Redoxpotential und pH-Wert mit Indikatoren". *Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellsch.* 66, I: 577-580.
- SERRANO, F.; RODRIGUEZ, J. y GONZALEZ, R. (1988): "Contribución al conocimiento de la fertilidad de los suelos de la comarca de La Mancha (Ciudad Real)". *II Congreso Nac. de la Ciencia del Suelo (Investigación-Uso-Conservación*. Sevilla, 26-30 sep.
- SERVICIO GEOGRÁFICO DEL EJÉRCITO (Ed.) (1992): Mapa topográfico de Villacañas, Serie L, escala 1:50.000, hoja núm. 20-27 (687).
- SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (SGOP) (1976): *Estudio hidrogeológico del SE de la provincia de Toledo (zona Villacañas y Villa de Don Fadrique)*. Mapa e informe interno.
- SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (SGOP) (1988 a): *Control y seguimiento de la actuación experimental de derivación de caudales del Acueducto Tajo-Segura con destino a Las Tablas de Daimiel*. Informe 11/88. M.O.P.T.
- SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (SGOP) (1988 b): *Evolución de las extracciones y niveles piezométricos en el acuífero de la llanura manchega*. Estudio nº 06/88. M.O.P.T.
- SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (SGOP) (1989): *Control y seguimiento de la actuación experimental de derivación de caudales del Acueducto Tajo-Segura con destino a Las Tablas de Daimiel*. Informe 09/89. M.O.P.T.
- SERVICIO GEOLÓGICO DE OBRAS PÚBLICAS (SGOP) (1990): *Control y seguimiento de la actuación experimental de derivación de caudales del Acueducto Tajo-Segura con destino a Las Tablas de Daimiel*. Informe 09/90. M.O.P.T.
- SHARMA, R.D.; MISHRA, B. (1991): "Changes in Eh and pH of soils during submergence and rice growth". *Agricultural Science Digest (Karnal)*, 11 (2): 71-74. India.
- SMITH, S.J. and LEGG, J.O. (1971): "Note Reflections on the a value concept of soil nutrient availability". *Soil Sci.* Vol. 112, 5. USA.
- SNAKIN, V.V.; GUROV, A. (1992): "Aplication of the Eh-pH diagram for the diagnosis of arable soils". Russia, *Seriya Biologicheskaya*, 5: 772-777.
- SOIL SURVEY STAFF (1975): *Soil Taxonomy a basin system of soil clasification for making and interpreting soil surveys*. Handbk U.S. Agric. 436, 754 pp.
- SORIANO, M.A.; MARFÍL, R. y PEÑA de la, J.A. (1977): "Sedimentación salina actual en las lagunas del norte de Alcázar de San Juan (Ciudad Real)". *Estudios Geológicos*, 33: 123-130.
- SORIANO, M.A. (1986): "Dolinas de disolución normal y dolinas aluviales en el sector centro-meridional de la Depresión del Ebro". *Bol. Geológico y Minero*, 97 (3): 60-69.
- SUAREZ, F.; SAIZ, H.; SANTOS, T. y GONZÁLEZ BERNALDEZ, F. (1991): *Las estepas ibéricas*. MOPT, Madrid, 160 págs.
- TERRIBAS, B. (1991): "Los paraísos artificiales: recuperación de graveras y canteras

- (humedales artificiales)". *Rev. MOPT*, 390: 54-59.
- TROYA, A. y BERNUES, M. (1990): *Humedales españoles en la lista del Convenio de Ramsar*. ICONA, colección Técnica, 337 págs.
- VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; OLIVEIRA, C. de (1993): "Processos redox em glei húmico do estado do Rio de Janeiro I. Variações electroquímicas". *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 17 (1): 17-22.
- VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; OLIVEIRA, C. de (1993): "Processos redox em glei húmico do estado do Rio de Janeiro II. Avaliação pelo parâmetro $pe + pH$ ". *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 17 (1): 23-26.
- VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; OLIVEIRA, C. de (1993): "Processos redox em glei húmico do estado do Rio de Janeiro III. Variação das concentrações de Fe(II) e fosfato". *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 17 (1): 27-33.
- VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; OLIVEIRA, C. de (1993): "Processos redox em glei húmico do estado do Rio de Janeiro IV. Variação do "status redox ($pe + pH$) de solos cultivados com arroz alagado". *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 17 (1): 35-39.
- VVAA (1984): *Investigación de suelos: métodos de laboratorio y procedimiento para recoger muestras*. Ed. Trillas. México.
- WANG, Z.P.; CLEEMPUT, O. Van; BAERT, L. (1990): "Effect of urease inhibitors on nitrification in soil". *Soil Use and Management*. Vol. 6, 1.
- WANG, Z.P.; DELAUNE, R.D.; MASSCHELEYN, P.H.; PATRICK, W.H. (1993): "Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 382-385.
- WILLETT, I.R. (1990): "An overview of redox reactions in relation to the surface chemistry of soil". In *Transactions 14th International Congress of Soil Science, Kyoto, Japan, August. Volume II*: 38-43.
- YEBENES, A.; MARFÍL, R.; SORIANO, J.; PEÑA de la, J.A. y DÍAZ MOLINA, M. (1977): "El Trías de Alcazar de San Juan (región de La Mancha)". *Cuadernos de Geología Ibérica*. Vol. 4: 495-508. Madrid.
- ZAMORA CABANILLAS, J.F. (1987): *El río Guadiana (fisiografía, geoquímica y contaminación)*. Departamento de Publicaciones, Diputación de Badajoz, 301 págs.
- ZAUSING, J.; STEPNIEWSKI, W. and HORN, R. (1993): "Oxygen concentration and redox potential gradients in unsaturated model soil Aggregates". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 908-916.

S DE ORIGEN FLUVIAL

LECHO DEL RIO

LAGUNAS

LLANURAS DE INUNDACION

FONDOS DE ANTIGUOS LAGOS

BANCOS ALUVIALES

MEANDROS ABANDONADOS

SUPERFICIE DE TOPOGRAFIA CASI PLAN

SUPERFICIE DE TOPOGRAFIA ONDULADA

LADERAS BASALES

LADERAS DE PENDIENTE SUAVE O MODERADA

LADERAS MEDIANAMENTE EMPINADA A MUY EMPINADA

ESCARPE

IAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL Y DENUDATIVO

TOPOGRAFIA. MONTAÑOSA. A. COLINA.

MESAS

CUESTAS

TOPOGRAFIA ONDULADA. CON DRENAJE PARALELO

IAS DE ORIGEN KARSTICO O PSEUDOKARSTICO

2 DOLINAS

MAS DE ORIGEN ANTROPICO

MALECONES O MUROS

LIMITE NETO

— LIMITE DIFUSO

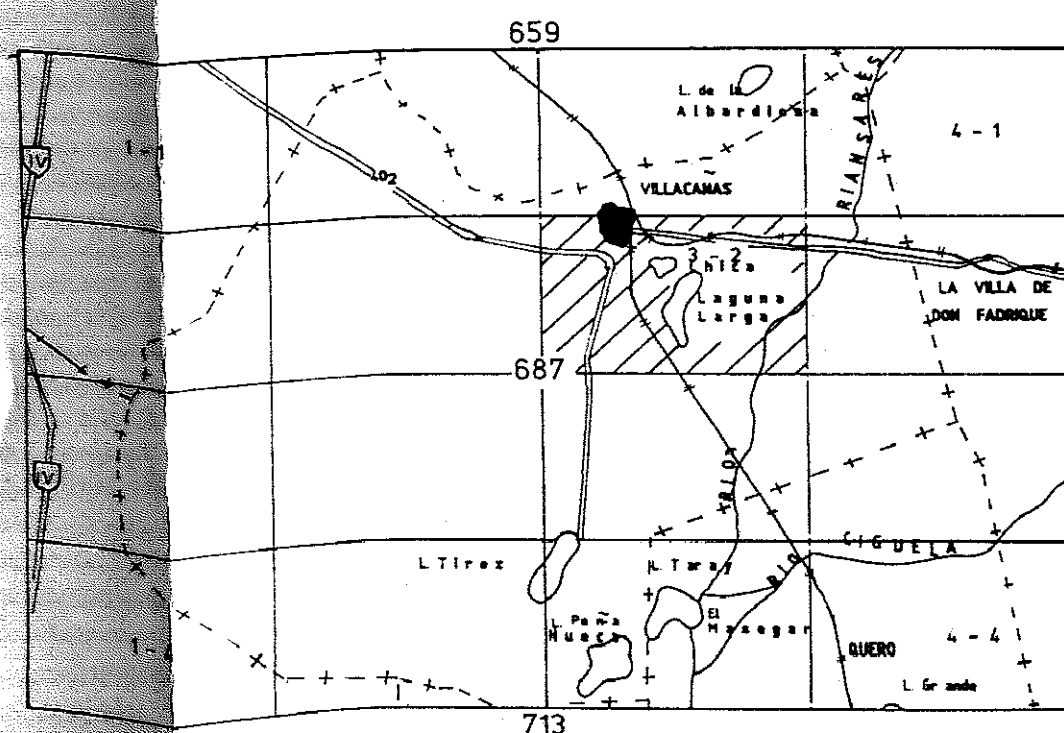
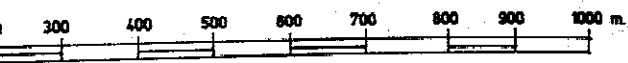


GRAFICO DE DISTRIBUCION DE LAS HOJAS SOBRE
EL MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL. 1:50.000

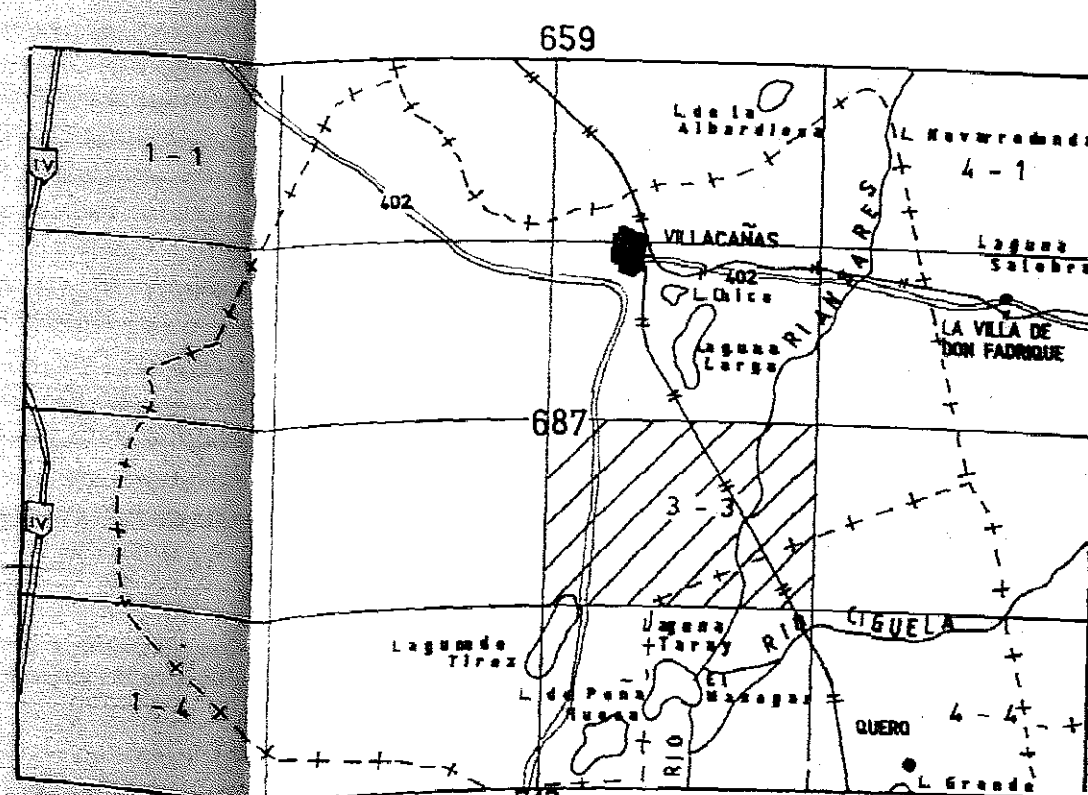
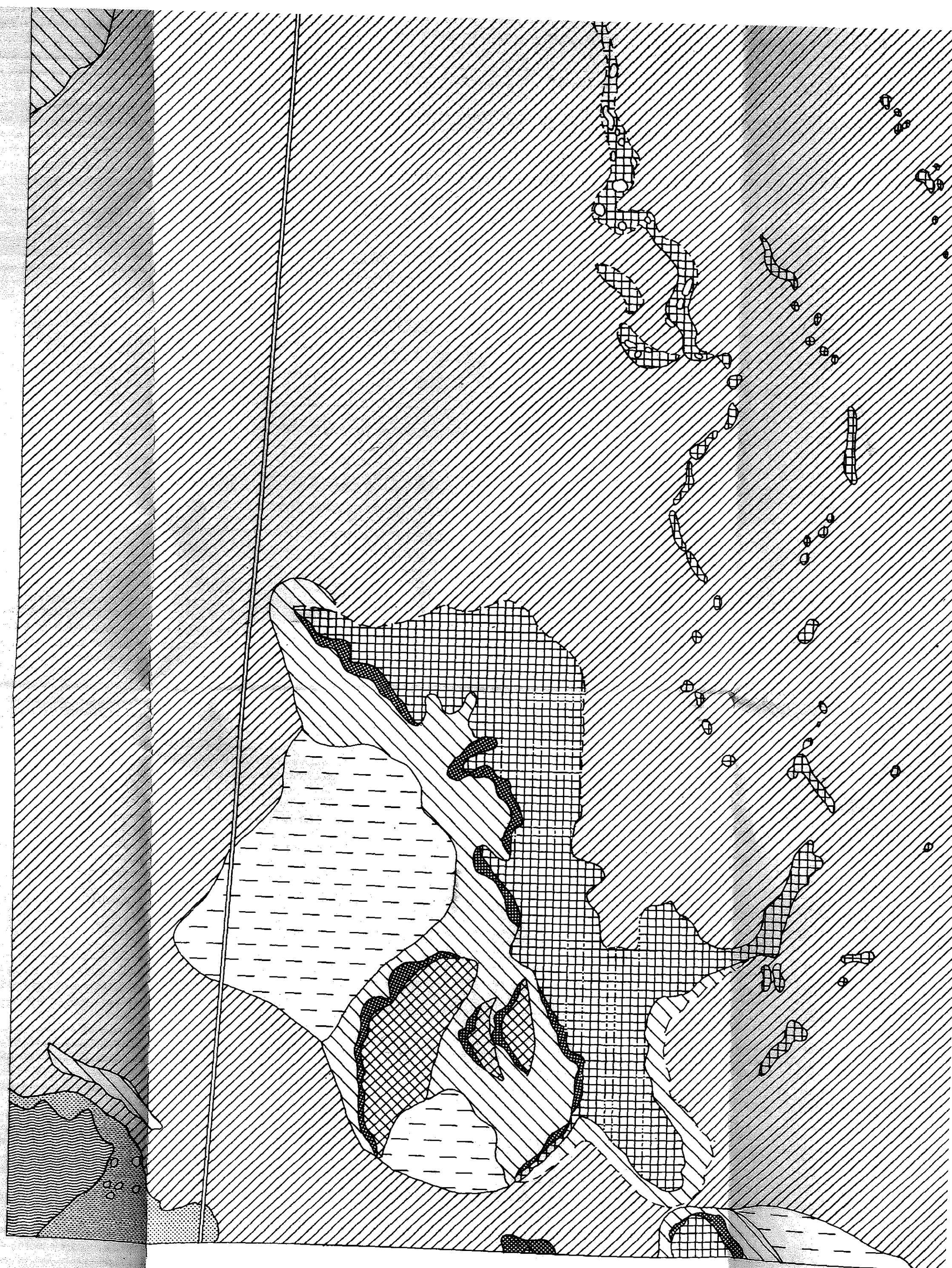


AUTORA : MARIA EUGENIA PEREZ GONZALEZ

ESCALA GRAFICA



LIMITE DIELO



713
GRAFICO DE DISTRIBUCION DE LAS HOJAS SOBRE EL
MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL. 1 : 50.000








ESCA









AUTORA : MARIA EUGENIA PEREZ GONZALEZ

LEYENDA





FORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

-  LECHO DEL RIO
-  LAGUNAS
-  LLANURAS DE INUNDACION
-  FONDOS DE ANTIGUOS LAGOS
-  ABANICOS ALUVIALES
-  MEANDROS ABANDONADOS
-  BARRAS

FORMAS DE ORIGEN DENUDATIVO

-  SUPERFICIE DE TOPOGRAFIA CASI PLANA
-  SUPERFICIE DE TOPOGRAFIA ONDULADA
-  LADERAS BASALES
-  LADERAS DE PENDIENTE SUAVE O MODERADA
-  LADERAS MEDIANAMENTE EMPINADA A MUY EMPINADA
-  ESCARPE

FORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL Y DENUDATIVO



-  TOPOGRAFIA MONTANOSA A COLINA
-  MESAS
-  CUESTAS
-  TOPOGRAFIA ONDULADA CON DRENAJE PARALELO

FORMAS DE ORIGEN KARSTICO O PSEUDOKARSTICO

-  DOLINAS

FORMAS DE ORIGEN ANTROPICO

-  MALECONES O MUROS

-  LIMITE NETO
-  LIMITE DIFUSO

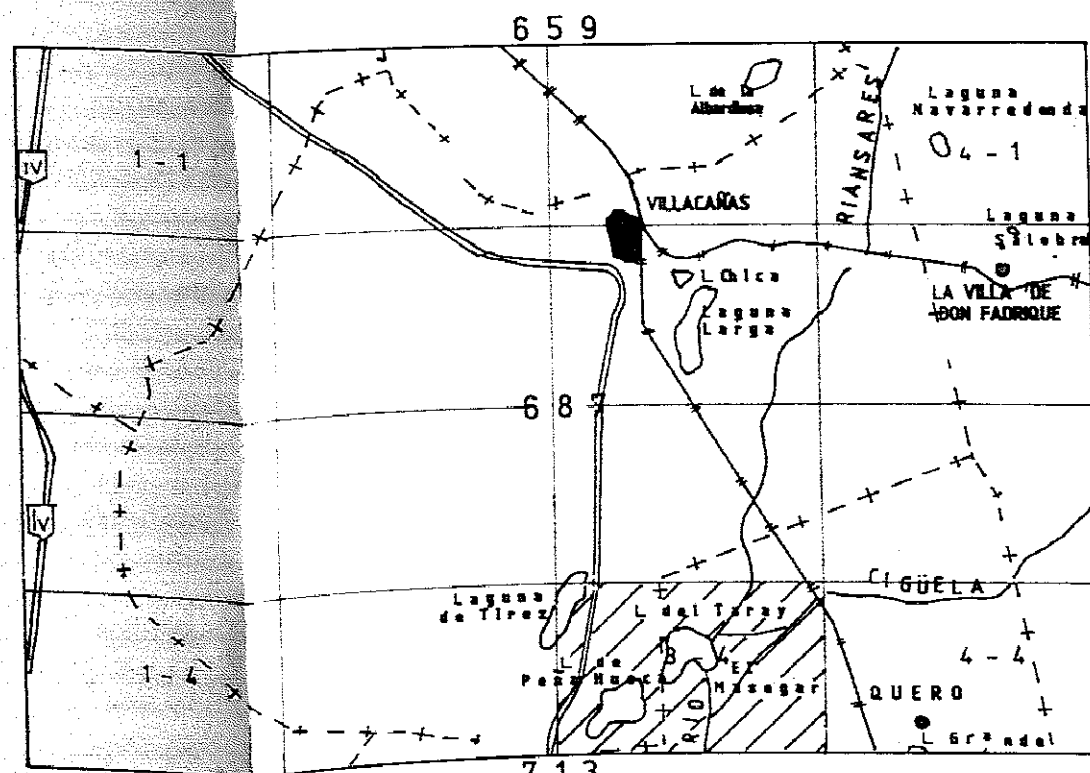
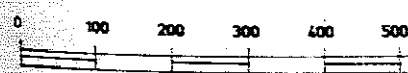
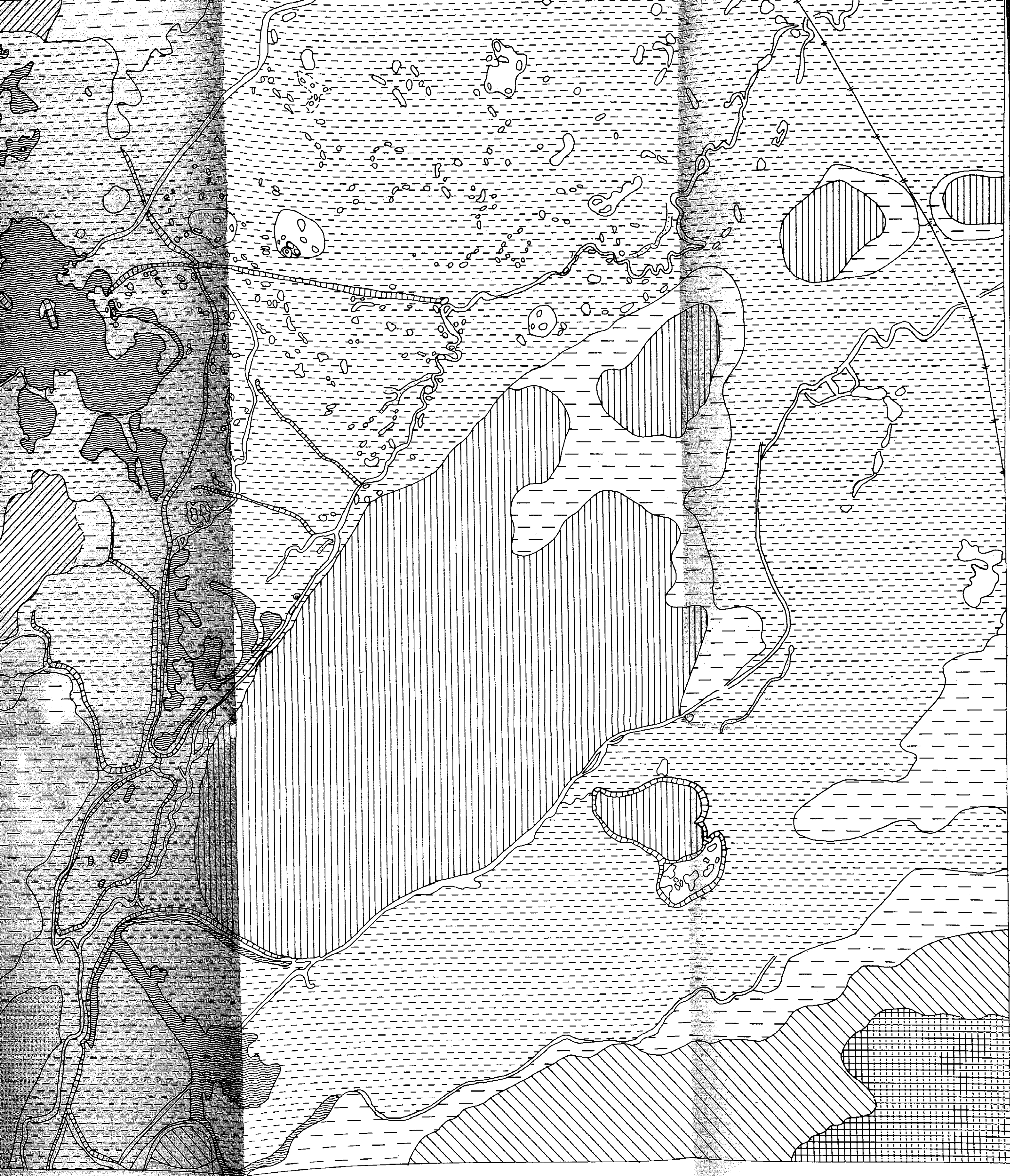


GRAFICO DE DISTRIBUCION DE LAS HOJAS SOBRE
MAPA TOPOGRAFICO NACIONAL 1:50,000

ESCALA





AUTORA : MARIA EUGENIA PEREZ GONZALEZ .